

Experimentelle Untersuchung
zur Ablenkungswirkung von Sekundäraufgaben
während zeitkritischer Fahrsituationen



Inaugural-Dissertation

zur Erlangung der Doktorwürde

der Philosophischen Fakultät II (Psychologie und Pädagogik)

der Universität Regensburg

vorgelegt von

Michael Praxenthaler

aus Regensburg

2003

Die vorliegende Arbeit entstand in der Zeit von September 1998 bis Februar 2003 am
Institut für Psychologie der Universität Regensburg.

Prüfungsvorsitz: Herr Prof. Dr. Gruber

Prüfungsausschuss: Herr Prof. Dr. Zimmer

Herr Prof. Dr. Bäuml

Tag der mündlichen Prüfung: 03.12.2003

Zusammenfassung

Im Straßenverkehr zeigt es sich immer wieder, dass konkurrierende Informationen, die beispielsweise über Informationssysteme im Fahrzeuginnenraum vermittelt werden, gerade während zeitkritischer Situationen die menschlichen Kapazitätsgrenzen zur Auswahl, Aufnahme und Verarbeitung von Information überschreiten.

In der hier vorliegenden Arbeit werden zunächst die Fahreranforderungen in zeitkritischen Fahrsituationen aus Sicht der menschlichen Informationsverarbeitung erarbeitet und die verkehrspsychologische Forschung gezielt daraufhin untersucht, warum sich derartige Situationen als Unfallschwerpunkte erweisen. Um das Fahrverhalten in diesen Situationen beschreiben zu können, wird die erforderliche Handlungssequenz und die dabei auftretenden Anforderungen an den Fahrer detailliert beschrieben.

Im experimentellen Teil dieser Arbeit wird zunächst die zeitkritische Fahrsituation „Spurwechsel“ einer eingehenden Analyse in Hinsicht auf das Fahr- bzw. Sicherungsverhalten unterzogen. Die Versuchspersonen werden in einer Fahrsimulationsstudie gezielt in Situationen gebracht, während derer sie zeitkritische Manöver beim Spurwechsel, Überholen oder auch Einfädeln durchlaufen. Das beobachtete Sicherungsverhalten stellt sich sehr heterogen dar, dennoch können neben unterschiedlichen Fahrertypen auch einige charakteristische Verhaltensmuster ausgemacht werden.

Im Untersuchungsabschnitt 2 werden die Auswirkungen gezielter Ablenkung auf das Fahrerverhalten während des Spurwechsels untersucht. Es zeigen sich kaum Unterschiede hinsichtlich Länge oder Dauer der Sicherungsblicke. Jedoch kann nachgewiesen werden, dass seltener Wechsel zwischen den einzelnen Blickorten auftreten. Die Ablenkung führt hier also zu einer Reduktion der Wechselhäufigkeit zwischen den Informationsquellen und somit zu einer Veränderung der Informationsaufnahme.

Im Untersuchungsabschnitt 3 wird zwischen einer Ablenkungs- (der Fahrer kann den Zeitpunkt der Aufgabenbearbeitung nicht frei wählen) und einer Abwendungsbedingung (der Fahrer kann sich der Nebenaufgabe zuwenden, sofern die Verkehrssituation dies zulässt) unterschieden. Die gewonnenen Ergebnisse liefern Aufschluss darüber, wann Systeme im Fahrzeug die Darbietung von Informationen unterbrechen sollten, da der Fahrer aufgrund des Verkehrsgeschehens ausgelastet ist. Dies stellt einen Schritt dar hin zu Systemen, die eine Art „Aufmerksamkeitsmanagement“ im Fahrzeug übernehmen und damit den Fahrer in besonders beanspruchenden Situationen entlasten.

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung und Zielsetzung.....	1
1.1	Einleitung	1
1.2	Zielsetzung der Arbeit.....	4
2	Zeitkritische Fahrsituationen	8
2.1	Beschreibung zeitkritischer Fahrsituationen	8
2.2	Der Spurwechselvorgang als spezielles zeitkritisches Manöver.....	9
2.3	Unfälle während zeitkritischer Fahrsituationen	11
2.3.1	Die amtliche Unfallstatistik.....	12
2.3.2	Analyse von Unfällen beim Überholen.....	14
2.4	Fahreranforderungen während zeitkritischer Fahrsituationen	17
2.4.1	Die Hierarchie der Fahraufgabe	17
2.4.2	Fehler während zeitkritischer Fahrmanöver.....	20
2.4.3	Aufgabenanalyse während zeitkritischer Fahrsituationen.....	23
2.4.3.1	Modellierung des Handlungsablaufs während zeitkritischer Fahrsituationen ..	23
2.4.3.2	Modellierung des Handlungsablaufs beim Spurwechsel bzw. Überholen	26
2.5	Zusammenfassung.....	27
3	Methodische Ansätze zur Messung der Ablenkungswirkung von Zusatzaufgaben	29
3.1	Modellvorstellungen zur geteilten Aufmerksamkeit.....	29
3.2	Beanspruchung beim Führen eines Kraftfahrzeugs	32
3.3	Methoden zur Beanspruchungsmessung	34
3.3.1	Objektive Maße der Beanspruchung	34
3.3.2	Subjektive Maße der Beanspruchung.....	37
3.3.3	Physiologische Maße der Beanspruchung.....	40
3.3.4	Blickregistrierung.....	42
3.3.5	Qualitätsmerkmale für Instrumente der Workloadmessung.....	42

3.4	Die Nachfolgeaufgabe als experimentelles Setting zur Beanspruchungs-	
	messung.....	44
3.5	Zur Unterscheidung von Ablenkung und Abwendung	45
3.6	Zusammenfassung.....	47
4	Theoretische Konzeption zur Messung der Ablenkungswirkung während	
	zeitkritischer Fahrsituationen.....	49
4.1	Fahrerbelastung während zeitkritischer Fahrsituationen	49
4.2	Beanspruchung und Informationsverarbeitung von Piloten.....	52
4.3	Auswirkung induzierter Ablenkung während zeitkritischer Fahrsituationen ..	53
4.3.1	Veränderung des Sicherungsverhaltens	53
4.3.2	Fehler bei der Situationsbewertung.....	54
4.4	Zusammenfassung und Hypothesenbildung	56
5	Experimentelle Untersuchungen	58
5.1	Untersuchungsabschnitt 1: Beschreibung des Fahrerverhaltens beim	
	Spurwechsel	58
5.1.1	Verwendete Methoden	58
5.1.1.1	Versuchsaufbau.....	58
5.1.1.2	Beschreibung der Experimentalfahrten.....	60
5.1.1.3	Aufgabenstellung	62
5.1.1.4	Ablauf der Untersuchung.....	63
5.1.1.5	Datenaufzeichnung	64
5.1.1.6	Beschreibung der Stichprobe	67
5.1.2	Beschreibung des Sicherungsverhaltens beim Spurwechsel.....	69
5.1.2.1	Auswahl der auswertbaren Ausschervorgänge	69
5.1.2.2	Vorgehensweise bei der Darstellung der Blickverläufe beim Spurwechsel	70
5.1.2.3	Blickverläufe mit verstärkter Nutzung des Innenspiegels	72
5.1.2.4	Blickverläufe mit verstärkter Nutzung des Aussenspiegels.....	73
5.1.2.5	Blickverläufe mit verstärkter Nutzung des Schulterblicks.....	75

5.1.2.6	Verteilung der Sicherungsblicke auf die Handlungsphasen.....	76
5.1.2.7	Mittlere Blickdauer und Blickhäufigkeit	78
5.1.3	Beschreibung des Fahrverhaltens beim Spurwechsel	79
5.1.3.1	Geschwindigkeit bei Beginn des Spurwechsels.....	80
5.1.3.2	Beschreibung der Lenktätigkeit	81
5.1.3.3	Beschreibung der Spurhaltung	82
5.1.4	Zusammenfassung der Ergebnisse	84
5.1.4.1	Interindividuelle Unterschiede im Sicherungsverhalten	84
5.1.4.2	Darstellung eines typischen Handlungsablaufs.....	84
5.2	Untersuchungsabschnitt 2: Der Einfluss visueller Ablenkung auf das Fahrerverhalten während des Spurwechsels	87
5.2.1	Verwendete Methoden	87
5.2.1.1	Aufgabenstellung - Nebenaufgabe.....	87
5.2.2	Einfluss visueller Ablenkung auf das Sicherungsverhalten	90
5.2.2.1	Einfluss der visuellen Ablenkung auf Blickdauer und Blickhäufigkeit.....	90
5.2.2.2	Einfluss der visuellen Ablenkung auf die Häufigkeit des Wechsels zwischen den Informationsquellen.....	92
5.2.2.3	Zusammenfassung der Ergebnisse	93
5.2.3	Einfluss visueller Ablenkung auf das Fahrverhalten beim Spurwechsel	94
5.2.3.1	Geschwindigkeit bei Beginn des Spurwechsels.....	95
5.2.3.2	Lenkverhalten während des Spurwechsels.....	95
5.2.3.3	Spurhaltung während des Spurwechsels	97
5.2.3.4	Anzahl abgebrochener Spurwechsel	99
5.2.3.5	Akzeptiertes Risiko zum Zeitpunkt des Ausscherens	100
5.2.3.6	Abstand und Time-to-Collision zum Zeitpunkt des Ausscherens.....	102
5.2.3.7	Zusammenfassung der Ergebnisse	103
5.3	Untersuchungsabschnitt 3: Zur Unterbrechbarkeit von Bedienvorgängen während zeitkritischer Fahrsituationen	104
5.3.1	Verwendete Methoden	104

5.3.1.1	Versuchsaufbau	104
5.3.1.2	Beschreibung der Experimentalfahrten	106
5.3.1.3	Aufgabenstellung	107
5.3.1.4	Ablauf der Untersuchung	109
5.3.1.5	Datenaufzeichnung	110
5.3.1.6	Beschreibung der Stichprobe	114
5.3.2	Analyse der Aufgabenunterbrechungen	115
5.3.2.1	Häufigkeit von Aufgabenunterbrechungen	115
5.3.2.2	Lokalisation von Aufgabenunterbrechungen im Handlungsablauf	118
5.3.2.3	Phasen der Aufgabenbearbeitung	120
5.3.3	Analyse der Blickzuwendungen beim Bedienvorgang	121
5.3.3.1	Dauer der Blickzuwendung	121
5.3.3.2	Häufigkeit der Blickzuwendung	122
5.3.4	Auswertung der subjektiven Daten	124
5.3.4.1	Beanspruchungsrating während der Fahrt	124
5.3.4.2	Befragung im Anschluss an die Fahrten	126
5.3.5	Zusammenfassung	129
6	Diskussion	131
6.1	Diskussion der Ergebnisse	131
6.1.1	Beschreibung des Fahrerverhaltens während zeitkritischer Fahrsituationen	131
6.1.2	Der Einfluss visueller Ablenkung auf das Fahrerverhalten während des Spurwechsels	133
6.1.3	Zur Unterbrechbarkeit von Bedienvorgängen während zeitkritischer Fahrsituationen	134
6.2	Diskussion der verwendeten Methode	135
	Literaturverzeichnis	141
	Verzeichnis der Abbildungen	151
	Verzeichnis der Tabellen	155

Anhang A: Blickverläufe beim Spurwechsel.....	156
Anhang B: Blickdauer und -häufigkeit.....	162
Anhang C: Häufigkeit der Blickwechsel	165
Anhang D: NASA-TLX.....	166

Kapitel 1

1 Einleitung und Zielsetzung

1.1 Einleitung

In der inzwischen über ein Jahrhundert andauernden Entwicklungsgeschichte des Automobils zeichnen sich unterschiedliche Trends mit unterschiedlichen Entwicklungszielen ab. In den ersten Jahrzehnten lagen die Schwerpunkte der Entwicklung im Bereich des Leistungsvermögens und der Zuverlässigkeit. Im weiteren Verlauf zeigte sich eine Verlagerung der Zielsetzungen hin zur Produktion von Automobilen in Massenfertigung, um damit den Markt durchdringen zu können. In der zweiten Hälfte des 20. Jahrhunderts jedoch wurden die Schwerpunkte hin zur besseren Handhabung, mehr Komfort und mehr Sicherheit verlagert. Die neueste Entwicklung allerdings zeigt, dass die automobilen Welt in ein Zeitalter der uneingeschränkten Kommunikations-, Informations- und sogar Multimediadienste eintritt.

Dass diese Entwicklung keine allzu ferne Zukunft darstellt, soll durch einige Zitate aus den Werbeauftritten von Zulieferfirmen der Automobilindustrie verdeutlicht werden. So ist - der CAA AG in Stuttgart zufolge - das „Auto-Cockpit der Zukunft mit einem multimedialen Fahrerinformations- und -kommunikationssystem ausgestattet.“¹ Dabei werden „bislang separate Geräte wie Navigationssystem, Telefon, Radio, Klimaanlagesteuerung oder Sitzverstellung integriert. Zusätzlich verfügt das System über eine Reihe neuer Kommunikationsdienste wie Email-Empfang oder Internet-Zugang.“ Immer öfter fällt beim Fahrzeug auch das Schlagwort des „mobilen Arbeitsplatzes“. So spricht wiederum CAA von einer „kompletten Car Office mit zahlreichen Funktionen wie Internet- oder WAP-Browser, Email, SMS und Adressbuch. Aber auch die Bedienung herkömmlicher Geräte wie Radio, CD, TV, Telefon, Klimaanlage oder Sitzverstellung ist integriert.“

Bei der Vorstellung der Cockpit-Studie 24.7 von Ford, dem zweitgrößten Automobilhersteller der Welt, wird folgende Frage gestellt: „Wie sieht also die neue Internet-

¹ CAA AG Stuttgart (www.caa.de)

Mobilität aus? Mit Tempo 150 auf der linken Spur und dabei mal eben die Börsenkurse abfragen, sich in Online-Shops herumtreiben oder mit anderen Surfern chatten?“² Diese durchaus nicht mehr realitätsfernen Visionen deuten darauf hin, dass auf den Fahrer neben der eigentlichen Fahrzeugsteuerung, also Längs- und Querführung, durch die neuen Kommunikations- und Informationsmöglichkeiten eine nicht zu unterschätzende zusätzliche Belastung zukommt, die sich negativ auf die Unfallbilanzen auswirken könnte.

Die Ursache von ca. 88% aller Unfälle mit Personenschaden ist dem Statistischen Jahrbuch 2000 zufolge das Fehlverhalten der Fahrer (Statistisches Bundesamt, 2001). Dieser Anteil lässt sich wiederum vor allem in zwei Untergruppen aufteilen: die Unfälle entstehen entweder durch Probleme bei der Informationsaufnahme oder bei der Situationsbeurteilung, das heisst allgemein durch Engpässe in der Informationsverarbeitung. Es ist zu erwarten, dass diese Tendenz sich in der Zukunft noch verstärken wird, da mit steigender Verkehrsdichte, immer schneller werdenden Fahrzeugen und den oben genannten Informationsangeboten auch die vom Fahrer zu verarbeitende Informationsmenge zunimmt.

Demgegenüber deutet die Tatsache, dass erfahrene Fahrer beispielsweise im dichten Verkehr bei hoher Geschwindigkeit eine sehr große Menge an Informationen gleichzeitig verarbeiten können, darauf hin, dass zumindest eine gewisse Adaptation durch eine ständige Auseinandersetzung mit einer sehr informationsreichen Umwelt möglich ist. Dem Fahrer kommt hier die Vorhersagbarkeit des Verhaltens der umgebenden Verkehrsteilnehmer und der Verkehrsumwelt entgegen. Dennoch bleibt die Aufmerksamkeit - trotz aller Anpassungen an die steigende Informationsmenge, die auf den Menschen eindringt - ein „Flaschenhals“ mit einem relativ kleinen Arbeitsspeicher. Daher sollte die Aufmerksamkeit der Forschung darauf gelenkt werden, wie einerseits die Fahrer besser mit dieser Informationslast umgehen können und wie andererseits Systeme im Fahrzeug die Informationsverarbeitung erleichtern können. Obwohl als Unfallursache also das Fehlverhalten des Fahrers in Frage kommt, wird dennoch ein Großteil der Sekundäraufgaben erfolgreich und ohne Beeinträchtigung der Verkehrssicherheit bearbeitet. Es stellt sich also die Frage, welche Strategien vom Fahrer eingesetzt werden, um

² SPIEGEL ONLINE - 28. Februar 2000 (www.spiegel.de)

zwischen Primäraufgabe und Sekundäraufgabe zu wechseln bzw. welche Umstände die Anwendung dieser Mechanismen stören können.

In diesem Zusammenhang erscheint es zunächst kaum möglich, den Fahrer in Richtung einer schnelleren Verarbeitung trainieren oder seine Fähigkeit zum Multi-Tasking verbessern zu wollen. Vielmehr sollte die Lösung entweder in einer Informationsreduktion oder aber in einer das Aufmerksamkeitsmanagement unterstützenden Technik im Fahrzeug liegen, die den Zustand des Fahrers und der Verkehrssituation erkennt und den Informationsfluss adäquat regelt. Beispielsweise könnten personalisierte Management- oder Aufmerksamkeitssysteme die Aufmerksamkeit der Fahrer entlasten, indem sie die über die Vielzahl der Geräte einströmenden Informationen kategorisieren und nach ihrer Wichtigkeit ordnen, so dass nicht gleichzeitig das Autotelefon läutet, eine Email eingeht und vorgelesen wird, ein Hinweis des Navigationssystems erfolgt und die CD gewechselt werden muss. Solche der menschlichen Aufmerksamkeit vorgeschalteten Selektionssysteme führen natürlich zwangsläufig auch zu der Vision, dass die Zukunft des Verkehrs darin bestehen könnte, nicht mehr selbst zu fahren, sondern dies dem Bordcomputer zu überlassen und sich ganz der Verarbeitung der Informationen widmen zu können.

Ein derartiges System, das den Informationsfluss in Abhängigkeit von der aktuellen Beanspruchung des Fahrers regelt, muss natürlich Input hinsichtlich der Anforderungen durch die Verkehrssituation erhalten. Dabei sind die sogenannten „zeitkritischen Fahrsituationen“ von vorrangiger Bedeutung. Bei der Betrachtung von Fehlern, die im Rahmen der zeitkritischen Fahrsituation „Überholvorgang“ zu beobachten sind, erweist es sich, dass im Jahre 2000 Unfälle, die durch Überholen bei unklarer Verkehrslage (24%) verursacht wurden sowie Unfälle bei Nichtbeachtung des nachfolgenden Verkehrs (17%) neben der „klassischen“ Nichtbeachtung entgegenkommender Fahrzeuge (22%) einen wichtigen Platz in der Unfallstatistik einnahmen. Dabei werden allerdings keinerlei Hinweise darauf gegeben, welcher Anteil dieser Unfälle durch gleichzeitige Ablenkung im Fahrzeug mitbedingt waren.

All den genannten Situationen ist gemein, dass sie zeitkritische Anforderungen an den Fahrer stellen - das heisst, ihm steht nur ein begrenztes Zeitfenster zur Verfügung, um sich für die Durchführung eines Fahrmanövers zu entscheiden, dieses einzuleiten und auszuführen. Wenn dem Fahrer dies nicht gelingt, kann im schlimmsten Fall eine Gefährdungssituation entstehen oder aber er muss das Manöver abbrechen bzw. dieses

erneut beginnen. In der einschlägigen Literatur sind bislang nur wenige Veröffentlichungen zum Fahrerverhalten in zeitkritischen Fahrsituationen zu finden und es existiert keine präzise Aufschlüsselung der Anforderungen an den Fahrer während dieser im heutigen Straßenverkehr sehr häufig auftretenden Gegebenheiten.

1.2 Zielsetzung der Arbeit

Die in dieser Arbeit beschriebenen Untersuchungen werden im Rahmen des nationalen Forschungsprogrammes MoTiV³ durchgeführt. In diesem Projekt arbeiten deutsche Automobilfirmen, Elektronik- und Zulieferindustrie sowie Softwareindustrie und Forschungseinrichtungen mit dem gemeinsamen Ziel zusammen, den Verkehr auf unseren Straßen sicherer, flüssiger und effizienter zu machen. Vorrangiges Ziel des Arbeitspakets 5 ist es, geeignete Methoden und experimentelle Paradigmen zu finden, um die Ablenkungswirkung von MMI-Lösungen im Fahrzeug nachweisen und quantifizieren zu können.

Das in der Einleitung beschriebene steigende Informations- und Kommunikationsbedürfnis des Fahrers und die damit verbundene Informationsflut im Auto führt die ergonomische Forschung zu der Aufgabenstellung, Geräte im Fahrzeug so zu gestalten, dass sie gerade in potentiell gefährlichen, zeitkritischen Situationen den Fahrer nicht zusätzlich ablenken bzw. dass sie ganz ausgeblendet werden können. Parkes und Franzen (1993) fordern beispielsweise von zukünftigen Kommunikationssystemen im Fahrzeug, dass ein Telefongespräch temporär unterbrochen wird oder der Gesprächspartner in geeigneter Form informiert wird, wenn sie feststellen, dass sich der Fahrer in einer komplexen Verkehrssituation befindet. Die Untersuchung von Verwey (1996a) berichtet von einer dramatischen Verschlechterung der Fahrleistung durch Zusatzaufgaben. Dies kann nach Dahmen-Zimmer et al. (1999) zum großen Teil darauf zurückgeführt werden, dass die Versuchspersonen in den entsprechenden Untersuchungen nicht frei darüber entscheiden konnten, wann sie sich der Zusatzaufgabe zuwenden, sondern durch das Experiment gezwungen wurden, zu fremdbestimmten Zeitpunkten ihre Aufmerksamkeit von der Fahraufgabe abzuziehen und sich auf die Zweitaufgabe zu konzentrieren. Im Straßenverkehr zeigt es sich jedoch immer wieder, dass konkurrierende Informationen - bspw. über Informationssysteme im Fahrzeuginnenraum vermittelt - „vor allem in zeit-

³ **M**obilität und **T**ransport im **i**ntermodalen **V**erkehr

kritischen Situationen die menschlichen Kapazitätsgrenzen zur Auswahl, Aufnahme und Verarbeitung von Information überschreiten“ (Bruckmayr, 1994).

Es ergeben sich aufgrund dieser Vorüberlegungen für die vorliegende Untersuchung zwei große Themenbereiche die daraus folgenden Zielsetzungen:

- (1) Die Beschreibung und Analyse von zeitkritischen Fahrsituationen mit dem Ziel, deren zeitlichen Ablauf sowie deren Anforderungen an den Fahrer genauer zu spezifizieren.
- (2) Die Analyse des Bedienverhaltens vor und während der zeitkritischen Fahrsituationen mit dem Ziel, das Fahrerverhalten während derartiger Manöver zu beschreiben und Voraussetzungen für die Unterbrechbarkeit von Bedienvorgängen zu bestimmen.

Themengebiet 1: Analyse zeitkritischer Fahrsituationen

Analyse von Fahr- und Sicherungsverhalten während zeitkritischer Fahrsituationen

In der vorliegenden Arbeit sollen zunächst die Anforderungen in zeitkritischen Fahrsituationen aus Sicht der menschlichen Informationsverarbeitung erarbeitet und die verkehrspsychologische Forschung gezielt daraufhin untersucht werden, warum sich derartige Situationen als Unfallschwerpunkte erweisen.

Sodann sollen zeitkritische Fahrsituationen einer detaillierten Analyse bezüglich des Fahr- bzw. Sicherungsverhalten unterzogen werden. Um das Fahrverhalten während zeitkritischer Fahrmanöver exakt beschreiben zu können, ist es notwendig, vorab den Ablauf dieser Situationen - also die Handlungssequenz - und die dabei auftretenden Anforderungen an den Fahrer aufzuschlüsseln. Dabei wird sowohl das Fahrverhalten als auch das Sicherungsverhalten vor und während der zeitkritischen Situation experimentell untersucht. Die Versuchspersonen werden in der Fahrsimulation gezielt in Situationen gebracht, während derer sie zeitkritische Manöver beim Spurwechsel, Überholen oder auch Einfädeln durchlaufen. Ziel dieses Untersuchungsabschnitts ist es, ein prototypisches Fahrerverhaltensmodell während zeitkritischer Fahrsituationen zu erhalten, das sowohl das Fahr- als auch das Sicherungsverhalten beschreibt.

Nachweis von Ablenkungswirkungen während zeitkritischer Fahrsituationen

Als zusätzliche Fragestellung werden die Auswirkungen gezielter visueller Ablenkung auf Fahr- und Sicherungsverhalten vor und während zeitkritischer Fahrsituationen in einem geeigneten experimentellen Setting untersucht. Dabei steht neben dem Nachweis von ablenkungsbedingten Veränderungen in der Handlungssequenz auch die Suche nach den geeignetsten Messmethoden für den Nachweis der Ablenkungswirkung im Vordergrund. Voraussetzung ist hierfür die oben beschriebene, exakte Analyse der Fahraufgabe und der Anforderungen in den zeitkritischen Situationen. Neben der Identifizierung geeigneter Messmethoden sollen auch Hinweise zum experimentellen Aufbau (Wahl der Versuchsstrecke, Verwendbarkeit der Fahrsimulation für die vorliegende Fragestellung etc.) gegeben werden.

Themengebiet 2: Zur Unterbrechbarkeit von Zusatzaufgaben im Fahrzeug - Ablenkung vs. Abwendung

In zahlreichen Untersuchungen zur Ablenkungswirkung von Zusatzgeräten im Fahrzeug konnten die Versuchspersonen nicht frei über den Zeitpunkt entscheiden, zu dem sie sich der Bedienung des Geräts, also der Nebenaufgabe zuwenden, sondern sie wurden durch das Experiment gezwungen, zu einem fremdbestimmten Zeitpunkt ihre Aufmerksamkeit von der Fahraufgabe abzuziehen und die Nebenaufgabe zu bearbeiten. Daher wird in der vorliegenden Untersuchung zwischen einer Ablenkungsbedingung (beispielsweise wird der Fahrer angerufen bzw. vom Versuchsleiter in einem Telefongespräch abgelenkt) und einer Abwendungsbedingung (der Fahrer kann sich selbst der Nebenaufgabe zuwenden, sofern die Verkehrssituation dies zulässt) unterschieden. Die Ergebnisse dieses Teils der Untersuchung sollen Aufschluss darüber geben, wann und wie oft sich die Fahrer während komplexer Fahrsituationen der Nebenaufgabe zuwenden und wie die Nebenaufgabe beschaffen sein muss, um ein problemloses Unterbrechen und Wiederaufnehmen der Zusatzaufgabe zu gewährleisten.

In einem Workshop der Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt) zum Thema „On-board-Informations- und Kommunikationssysteme“ am 7. September 2000 wurde eben diese Unterbrechbarkeit und Wiederholbarkeit bei der Eingabe als ein besonders wichtiges Beurteilungskriterium hervorgehoben. Desweiteren fordert das European statement of principles on human machine interface die einfache Unterbrechbarkeit sowie die Kontrollierbarkeit des Bedienvorgangs: Der Fahrer soll einen Bedienvorgang jeder-

zeit unterbrechen und problemlos wieder aufnehmen können. Zudem darf er nicht zu Eingaben gezwungen werden, wenn dies die aktuelle Verkehrssituation nicht zulässt.

In diesem Zusammenhang stellt sich nun die Frage, ob Fahrer ein entsprechendes Angebot überhaupt nutzen, also den Bedienvorgang während der Fahrt unterbrechen, wenn dies die Verkehrssituation erfordert. Daher soll bei der Datenanalyse ein Augenmerk darauf gelegt werden, wann die Fahrer den Bedienvorgang unterbrechen: welche Aufgabencharakteristika unterstützen die Unterbrechbarkeit und in welchen Verkehrssituationen treten diese Unterbrechungen bevorzugt auf?

Kapitel 2

2 Zeitkritische Fahrsituationen

2.1 Beschreibung zeitkritischer Fahrsituationen

Der Begriff der zeitkritischen Fahrsituation kam bislang in der verkehrspsychologischen Forschung kaum zur Anwendung. Daher existiert auch keine exakte Beschreibung der Charakteristika und der Anforderungen, die an den Fahrer bei derartigen Fahrmanövern gestellt werden. So gibt es zwar zahlreiche Untersuchungen zum Überholverhalten oder auch zum Verhalten in Spurwechselsituationen, eine systematische Zusammenfassung und Beschreibung von Verkehrssituationen und -konstellationen, die zeitkritische Anforderungen aufweisen, existiert jedoch nicht.

Um dennoch eine Klassifizierung und Analyse zeitkritischer Fahrsituationen vornehmen zu können, muss zunächst geklärt werden, was unter den zeitkritischen Anforderungen einer Fahraufgabe zu verstehen ist, welche Aktivitäten seitens des Fahrers zu verrichten sind und wie Anfang sowie Ende derartiger Situationen festzulegen sind:

- Dem Fahrer steht aufgrund der sich im Straßenverkehr permanent verändernden Umgebungsbedingungen nur ein begrenztes Zeitfenster für die Entscheidung zur Durchführung des Fahrmanövers zur Verfügung; nach Verstreichen dieses Zeitfensters muss er eine erneute Situationsbewertung auf Grundlage der neuen Datengrundlage durchführen.
- Auch für die eigentliche Durchführung des Fahrmanövers steht ihm nur ein begrenztes Zeitfenster zur Verfügung. Dieses wird durch andere Verkehrsteilnehmer bestimmt, welche die selbe Fahrspur beanspruchen, oder aber auch durch straßenbauliche Eigenheiten bzw. Sichtbedingungen.
- Das Vorfeld einer zeitkritischen Situation ist durch erhöhte Anforderungen an Aufmerksamkeit und Informationsverarbeitung gekennzeichnet. Besonders bei plötzlich auftretenden zeitkritischen Anforderungen steigt die Beanspruchung des Fahrers, die beispielsweise anhand physiologischer Parameter messbar ist, deutlich an.

Der alltägliche Verkehr auf unseren Straßen enthält eine Fülle an einzelnen Situationen, die die oben definierten zeitkritischen Anforderungen erfüllen. Daher soll an dieser Stelle eine Übersicht gegeben werden, welche die am häufigsten auftretenden, vom Fahrer unterscheidbaren zeitkritischen Situationen enthält und diese auf eine überschaubare Anzahl von Klassen reduziert.

Zeitkritische Situationen auf Autobahnen

- Spurwechsel nach links
- Spurwechsel nach rechts
- Einfädeln an Auffahrten
- Abfahren an einer Ausfahrt

Zeitkritische Situationen auf Landstraßen

- Spurwechsel zum Überholen nach links
- Spurwechsel zum Wiedereinscheren nach rechts
- Spurwechsel zum Einordnen
- Spurwechsel aufgrund plötzlich auftretender Hindernisse

Zeitkritische Situationen innerorts

- Spurwechsel bspw. zum Zwecke des Abbiegens
- Einfahren in eine vorfahrtsberechtigte Straße bei höherem Verkehrsaufkommen etc.

Diese Aufstellung ist stark an objektiven Gegebenheiten, also an der Fahrzeugumgebung, orientiert. Darüberhinaus ist eine stärker verhaltensorientierte Unterscheidung denkbar (bspw. Situationen, die eine Spiegelabsicherung erfordern; Situationen, die eine Beachtung des entgegenkommenden Verkehrs erfordern; Manöver, die mit einer Geschwindigkeitsveränderung einhergehen etc.), die jedoch sehr stark von individuellen Fahrerparametern abhängig wäre.

2.2 Der Spurwechselvorgang als spezielles zeitkritisches Manöver

Diejenige zeitkritische Fahrsituation, die im heutigen Straßenverkehr wohl am häufigsten auftritt und in einer experimentellen Untersuchung am einfachsten zu realisieren ist, ist der Spurwechsel. Zeitkritische Anforderungen entstehen beispielweise dann, wenn beim Ausscheren eine Lücke im vorbeifahrenden Verkehrsgeschehen gefunden werden

muss oder auch wenn nach erfolgtem Überholvorgang ein Wiedereinscheren erforderlich ist.

Ein Spurwechselvorgang ist die Bewegung eines Fahrzeugs von einer Spur auf die benachbarte Spur. Ein Spurwechsel links erfolgt von rechts nach links bzw. von der Fahrspur zur Überholspur; ein Spurwechsel rechts liegt vor, wenn von links nach rechts, d.h. von der Überholspur zur Fahrspur gewechselt wird (Sparmann, 1978).

Grundsätzlich entsteht dann im Fahrer der Spurwechselwunsch nach links, wenn er von einem mit niedrigerer Geschwindigkeit vorausfahrenden Fahrzeug daran gehindert wird, die eigene Wunschgeschwindigkeit beizubehalten (Sparmann, 1978). Die Entscheidung für einen Spurwechsel nach rechts wird im allgemeinen nur dann getroffen, wenn der Fahrer dort seine Wunschgeschwindigkeit während einer gewissen Zeit beibehalten kann bzw. wieder rechtzeitig zur Überholspur zurückwechseln kann. Diese Entscheidung kann durch nachfolgende, schnellere Fahrzeuge forciert werden.

Abgesehen vom Rechtsfahrgebot der StVO können also vor allem zwei Ziele angeführt werden, die einen Spurwechsel aus verkehrlichen Gründen zur Folge haben:

- (1) Die eigene Wunschgeschwindigkeit realisieren. Daraus resultieren aktive Überholvorgänge und Spurwechsel nach links.
- (2) Andere Verkehrsteilnehmer möglichst wenig behindern. Dies führt zu passiven Überholvorgängen und Spurwechselvorgängen nach rechts.

Um das Fahrerverhalten während des Spurwechsels einer genaueren Analyse unterziehen zu können, müssen ebenfalls Kriterien für Anfang bzw. Ende des Spurwechsels gefunden werden:

Hölsken (1965) geht vom Erreichen der Spurbegrenzung und der Orientierung der Fahrzeuglängsachse aus: Als Spurwechselanfang wird der Querschnitt bezeichnet, an dem der Fahrzeugführer die zur Trennmarkierung parallel gerichtete Fahrt aufgibt und das Lenkrad mehr oder minder stark einschlägt, um die Trennmarkierung schleifend zu kreuzen. Das Spurwechselende ist der Querschnitt, an dem die zur Trennmarkierung geneigte Fahrt beendet ist und das Fahrzeug wieder in die zur Markierung parallel gerichtete Fortbewegung übergeht.

Hohle (1974) hingegen gibt an, dass die Festlegung von Spurwechselanfängen nicht eindeutig lösbar ist und mehr oder weniger große Fehler auftreten können. Daher geht

er von folgender Definition aus: „Als Spurwechselanfang wird der Querschnitt bzw. Zeitpunkt bezeichnet, an dem der Fahrzeuggrundriss erstmals die Trennmarkierung berührt. Das Spurwechselende ist der Querschnitt oder Zeitpunkt, an dem die Trennmarkierung zum letzten Mal berührt wird.“ Spurwechselanfang und -ende markieren also den Bereich, während dem das Fahrzeug beide Spuren beansprucht.

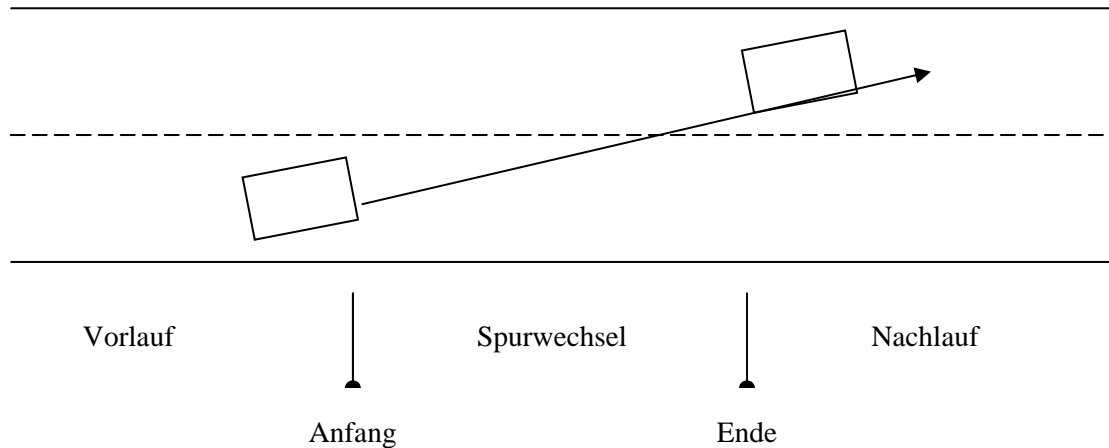


Abbildung 1: Phasen des Spurwechsels (nach Sparmann, 1978)

Wenn der Fahrer die Notwendigkeit eines Spurwechsels erkennt, wird er sich durch Sicherungsblicke in die Rückspiegel bzw. über die Schulter informieren und vergewissern, dass der nachfolgende Verkehr nicht behindert wird und den Zeitpunkt für den Beginn des Spurwechsels festlegen. Dieser Zeitpunkt ist also abhängig von der Tatsache, ob die Zielspur frei ist, ob sich schnellere Fahrzeuge von hinten annähern und ob der Spurwechsel dann noch rechtzeitig, d.h. ohne Verminderung der eigenen Geschwindigkeit, eingeleitet werden kann. Andernfalls wird das nachfolgende Fahrzeug unter Umständen zum Gaswegnehmen oder Bremsen gezwungen.

2.3 Unfälle während zeitkritischer Fahrsituationen

Die Ursache von Unfällen im Straßenverkehr liegt im Zusammenwirken von Mensch, Fahrzeug und Umwelt, wobei eine oder mehrere der Komponenten fehlerbehaftet sind. Die überwiegende Zahl der Unfälle ist auf menschliche Fehler und Unzulänglichkeiten zurückzuführen. Wesentliche Regelgrößen sind dabei die Wahrnehmung und das Erkennen der Situation. Sehr oft sind Fehler in der Informationsaufnahme ausschlaggebend. Unfallrekonstruktionen lassen darauf schließen, dass Informationen über den Bewegungsraum, über Fahrzeuge und Personen nicht immer ausreichend wahrgenommen

oder nicht beachtet werden. Im nachfolgenden Teil der vorliegenden Arbeit soll nun ein besonderes Augenmerk auf Unfällen während zeitkritischer Fahrsituationen und deren Ursachen liegen - dies gibt Aufschluss über den Einfluss ablenkender Tätigkeiten während derartiger Manöver.

2.3.1 Die amtliche Unfallstatistik

Das statistische Bundesamt in Wiesbaden unterscheidet in seiner jährlichen Aufstellung zwischen Unfällen mit Personenschäden und schwerwiegenden Unfällen mit Sachschäden (Statistisches Bundesamt, 2001). Eine gesonderte Aufstellung von Unfällen während zeitkritischer Fahrmanöver wird nicht vorgenommen. Eine der vorhandenen Unterkategorien erfasst das Fehlverhalten der Fahrzeugführer, welches wiederum in 14 Unterarten untergliedert ist. Folgende Punkte können sich dabei auf zeitkritische Situationen beziehen:

- Überholen
- Vorbeifahren
- Nebeneinanderfahren, fehlerhaftes Wechseln des Fahrbahnstreifens beim Nebeneinanderfahren

Diese drei Unterarten machen im Jahr 2000 ca. 5.9 % der als Grund für Unfälle aufgeführten Fehlverhaltensarten aus. Eine weitere Aufschlüsselung dergestalt, welcher Anteil unter gleichzeitiger Ablenkungswirkung vonstatten ging, wurde nicht durchgeführt.

Somit kann festgestellt werden, dass diese Klassifikation von Unfällen relativ allgemein gehalten wird. Unfälle während zeitkritischer Fahrmanöver stellen keine eigene Kategorie dar, sondern werden in anderen Kategorien subsummiert. Zudem können Unfälle als seltene Ereignisse gelten, Unfallszahlen sind daher nur über längere Zeiträume oder größere Kollektive gesehen verlässlich.

In einer im Rahmen des MoTiV-Projekts in Auftrag gegebenen Auswertung von 44 Spurwechselunfällen durch die DEKRA (Schmidts, Niewöhner & Berg, 1999), für die entsprechende Gutachten vorlagen, wurde eine präzisere Aufschlüsselung vorgenommen. Allerdings bezieht sich diese nur auf spurwechselbedingte Unfälle, nicht aber generell auf zeitkritische Fahrsituationen. Die für die hier vorliegende Fragestellung wichtigsten Ergebnisse lauten wie folgt:

- In 77% der begutachteten Fälle handelte es sich um einen einfachen Spurwechsel von rechts nach links, in 16% der Fälle um einen Spurwechsel von links nach rechts. Die überwiegende Zahl der Unfälle resultierte also aus einer normalen Fahrsituation.
- In 60% der Fälle kam es zu einer Kollision während des Spurwechsels, in 25% der Fälle ereignete sich diese danach, bei den restlichen Unfällen war der Spurwechselnde selbst nicht betroffen.
- Die unfallverursachenden Spurwechsel begannen in 56 % der Fälle auf der rechten Spur, in 30% der Fälle auf der Gegenspurspur und in 11% der Fälle auf dem Beschleunigungstreifen (bspw. Autobahnauffahrt).
- Die Spurwechselunfälle ereigneten sich zumeist ausserorts (82%), dabei meistens im Längsverkehr (93%), also nur selten während des Abbiegens. Dabei war in 25% der Fälle die Autobahn betroffen, etwas mehr als die Hälfte der Unfälle ereignete sich auf Bundes- und Landstraßen. Innerorts waren nur 3 entsprechende Unfälle bei der DEKRA registriert.
- Die Unfälle ereignen sich überwiegend auf geraden Strecken oder zumindest langgezogenen Kurven (96%) und zumeist in der Ebene (77%).

Auch hier werden keine Angaben darüber gemacht, welcher Anteil durch gleichzeitige Ablenkungswirkung bedingt wurde.

Bei einer exakteren Aufschlüsselung der im Längsverkehr aufgetretenen Unfälle extrahiert die DEKRA drei typische Szenarien des Spurwechselunfalles (Schmidts et al., 1999):

- (1) Spurwechsel nach links zum Überholen bei Gegenverkehr: Dieses Fahrmanöver stellt mit 48% der untersuchten Unfälle die häufigste Unfallursache dar. Der Fahrer will den Vorfahrenden überholen und kollidiert mit dem entgegenkommenden Fahrzeug.
- (2) Spurwechsel nach links mit nachfolgendem Verkehr (39% der Unfälle): Hier schert der Fahrer aus, um einen Vorfahrenden zu überholen und behindert dabei ein nachfolgendes Fahrzeug, was zu einer Kollision führt. Zu dieser Kategorie gehören auch Einfädelvorgänge an Auffahrten (7%).

- (3) Sonstige Unfälle im Längsverkehr (5% der Unfälle): Unter dieser Kategorie finden sich vor allem Unfälle, die darauf zurückzuführen sind, dass auf einer mehrspurigen Autobahn zwei Fahrzeuge gleichzeitig auf dieselbe Fahrspur wechseln wollen.

Der Überblick über die aufgeführten Unfälle beim Spurwechsel bzw. Überholen zeigt, dass die überwiegende Mehrheit aus einer ganz normalen und alltäglichen Fahrsituation resultiert. Der Fahrer übersieht beim Ausscheren den nachfolgenden Verkehr oder schätzt den Abstand zum Entgegenkommenden falsch ein. Im nachfolgenden Kapitel soll nun anhand einiger Untersuchungen zum Überholverhalten weiter Aufschluss darüber gegeben werden, warum Überholmanöver derart komplexe Anforderungen an den Fahrer stellen und welche Unfallursachen seitens des Fahrers aufgedeckt werden können.

2.3.2 Analyse von Unfällen beim Überholen

Es zeigt sich, dass es nur relativ wenige Studien gibt, die sich mit den Ursachen von Unfällen beim Überholen beschäftigen, obwohl diese - wie bereits erwähnt - relativ häufig vorkommen und oft schwerwiegende Unfallfolgen nach sich ziehen. Wenn Fahrer direkt zum Thema Überholmanöver befragt werden, berichten diese oft von einem hohen Risiko (Harris, 1988) und bemängeln, dass es während der Fahrschulausbildung nur wenig Gelegenheit gibt, den Überholvorgang zu üben. Groeger und Clegg (1994) geben beispielsweise als Ergebnis einer Videoanalyse an, dass typischerweise nur 5% der in der Fahrschulausbildung geübten Manöver mit Überholen in Verbindung stehen, von denen die meisten wiederum langsame oder stehende Fahrzeuge betreffen.

An dieser Stelle soll nun ein Überblick über Untersuchungen gegeben werden, die sich mit den Ursachen von Unfällen während des Überholens befassen. Dabei zeigt sich allgemein ein relativ großes Repertoire an experimentellen Vorgehensweisen (Befragung, Unfallanalyse, Beobachtung, Gutachtenanalyse etc.), aber auch die Schwierigkeit des Untersuchungsgegenstands, da die entsprechenden Situationen schwer zu beobachten sind und deren Auftreten nicht unbedingt geographisch bestimmt werden kann. Zudem muss im Falle von Unfallanalysen und Befragungen damit gerechnet werden, dass die Selbsteinschätzungen vor allem im direkten Anschluss an einen Unfall verzerrt dargestellt werden.

Clarke, Ward und Jones (1998) führten eine Analyse von Unfällen bei Überholmanövern durch, die zwischen 1989 und 1993 in einer englischen Grafschaft von der Polizei registriert wurden und versuchte, Zusammenhänge zwischen der Art des aufgetretenen Unfalls und dem Alter des Unfallverursachers aufzudecken. Von 10 aufgetretenen Unfalltypen extrahierten sie drei Arten, die einer näheren Untersuchung unterzogen wurden: Frontalunfälle, Unfälle beim Überholen eines abbiegenden Fahrzeugs und Unfälle, die sich als Folge einer Fahrtrichtungsänderung („U-Turn“) ereigneten. Dabei stellten sie fest, dass vor allem bei der zweiten Kategorie (Kollisionen mit einem abbiegenden Fahrzeug) ein Alterseffekt zu beobachten war: derartige Unfälle ereigneten sich, weil entweder junge Fahrer die Möglichkeit zu überholen falsch einschätzten, oder aber ältere Fahrer Fehler beim Abbiegen machten. Bei der dritten Kategorie („U-Turns“) waren vor allem junge Fahrer betroffen, während in der ersten Kategorie (Frontalunfälle) keine Alterseffekte nachzuweisen waren.

Einige Forscher haben sich mit dem Problem der fehlerhaften Geschwindigkeits- und Abstandsschätzung beim Überholen befasst. So kamen bereits in einer frühen Studie Farber und Silver (1967) zu dem Ergebnis, dass Fahrer bei ihren Überholentscheidungen sehr gut in der Lage sind, den Abstand entgegenkommender Fahrzeuge einzuschätzen, nicht aber deren Geschwindigkeit. Dies führen sie darauf zurück, dass eine Winkeländerung von 0.2 Grad pro Sekunde überschritten werden muss, damit der Beobachter unterschiedliche Annäherungsgeschwindigkeiten unterscheiden kann. Diese Wahrnehmungsgrenze wird im Falle eines entgegenkommenden Fahrzeugs jedoch erst sehr kurz vor dem Zusammentreffen erreicht.

In eine ähnliche Richtung zielt Hills (1980), der argumentiert, dass die Schwierigkeiten bei der Geschwindigkeitsschätzung auf das Unvermögen der menschlichen visuellen Wahrnehmung zurückzuführen ist, kleine Veränderungen des Retina-Abbilds entgegenkommender Fahrzeuge zu erkennen und zu verarbeiten. Zudem führen eingeschränkte Sichtbedingungen aufgrund der Straßengeometrie (Kurven, Senken etc.) nicht dazu, dass Fahrer ihre Geschwindigkeit verringern, was er unter anderem der Tatsache zuschreibt, dass Fahrer dem Auftreten eines Hindernisses eine geringe Wahrscheinlichkeit zuordnen. Fuller (1992) spricht in diesem Zusammenhang von „learned riskiness“.

Brehmer (1990) konnte nachweisen, dass Fahrer, die den wahrscheinlichen Treffpunkt zweier, sich aufeinander zu bewegendes Fahrzeuge vorhersagen sollten, eine Reihe von Schätzfehlern machten, die ihn zu dem Schluss führten, dass unabhängig von den gefah-

renen Geschwindigkeiten im allgemeinen der Mittelpunkt als wahrscheinlicher Treffpunkt angesehen wird. Aufgrund dieser Schätzfehler kommt es vor allem auf Straßen, die eine große Bandbreite an gefahrenen bzw. zugelassenen Geschwindigkeiten erlauben, zu einer erhöhten Anzahl von Unfällen und auch schwerwiegenderen Unfallfolgen (Clarke et al., 1998).

Die Untersuchung von Wilson und Best (1982) kann insofern als gegenläufig zu den oben genannten Studien gesehen werden, als sie nicht das entgegenkommende Fahrzeug, sondern die Interaktion mit dem zu überholenden Fahrzeug in den Mittelpunkt ihrer Fahrerverhaltensanalyse rückt. Wilson und Best stellten fest, dass der überholende Fahrer in vielen Fällen die Gegenfahrspur nicht vollständig ausnutzte, also über dem Mittelstreifen fuhr, und das zu überholende Fahrzeug beim Wiedereinscheren zudem „geschnitten“ wurde. Wilson und Best zufolge erhöht jedes Manöver, das die räumliche Nähe zu einem zu überholenden Fahrzeug verringert, das „geometrische Risiko“ und darf nicht als sicherheitserhöhende Aktion betrachtet werden, die den Abstand zum Entgegenkommenden vergrößert.

In eine ähnliche Richtung zielten Clarke, Ward und Jones (1999), die feststellten, dass überholende Fahrer sich sehr wohl der Tatsache bewusst sind, dass die Abschätzung der Geschwindigkeit entgegenkommender Fahrzeuge ein Hauptproblem beim Überholen darstellt und sich daher stark auf diesen Teil des Verkehrs konzentrieren. Dabei aber unterschätzen sie die Gefahren, die aus der Interaktion mit denjenigen Fahrzeugen resultieren, die in der gleichen Fahrtrichtung unterwegs sind. Sie übersehen den gesetzten Blinker oder das Abbremsen des Vorfahrenden und scheinen nach der Maxime zu agieren „Ignoriere den Vorfahrenden – sieh nur zu, dass Du vor ihn kommst“. Diese Einstellung führt Clarke et al. zufolge allgemein zu mehr Unfällen, in denen der Vorfahrende verwickelt wird, als zu Frontalunfällen.

Darüberhinaus spielt die Vorgeschichte des jeweiligen Überholmanövers eine wichtige Rolle bei der Entscheidung auszuscheren. Der Fahrer hat die Absicht, den Vorfahrenden früher oder später auf jeden Fall zu überholen. Wenn dies aufgrund objektiver Gegebenheiten (kurvige oder hügelige Strecke, Überholverbot etc.) längere Zeit unmöglich war, führt ein Wegfall einer dieser Faktoren - bspw. eine Aufhebung des Überholverbots - zu einer oft voreiligen Überholentscheidung unter erhöhter Belastung und Anforderung an die Aufmerksamkeit.

Zudem wurden Anstrengungen unternommen, besonders gefährdete Fahrertypen und Fahrerpersönlichkeiten zu identifizieren. Von Wilson und Greensmith (1983) stammt der Begriff des „trägen Fahrers“ (inertial driver), der sich vom weniger unfallträchtigen Fahrer darin unterscheidet, dass er nicht gewillt ist, seine Geschwindigkeit aufgrund äußerer Umstände durch Herunterschalten, Vom-Gas-gehen oder Betätigung der Bremse zu verringern.

2.4 Fahreranforderungen während zeitkritischer Fahrsituationen

2.4.1 Die Hierarchie der Fahraufgabe

Das Führen eines Fahrzeugs wird in der Verkehrspsychologie als eine sehr komplexe Aufgabe betrachtet, die Anforderungen unterschiedlichster Art an den Fahrer stellt und als Regelvorgang verstanden werden kann. Bei Anwendung eines derartigen regeltheoretischen Ansatzes könnten die Hauptaufgaben des Fahrers in der folgenden Weise beschrieben werden: Der Fahrer muss zunächst die relevanten Elemente in der Verkehrsumgebung wahrnehmen und interpretieren, daraufhin auf dieser Grundlage die Aufgabenanforderungen festlegen und eine geeignete Reaktion auswählen. Die gewählte Aktion wird dann ausgeführt und ihre Konsequenzen müssen in der Folge überwacht werden. Wenn ein Eingriff notwendig erscheint, wenn also eine Diskrepanz zwischen dem Feedback und dem angestrebten Zustand auftritt, muss der Fahrer sein Verhalten an die Gegebenheiten anpassen.

Die einzelnen Bestandteile des Fahrverhaltens werden infolge serieller oder hierarchisch-serieller Anordnung zu einer Fahrhandlung organisiert (Bartmann, 1995). Es existiert eine Reihe unterschiedlicher Modelle, die das Fahrverhalten als das Ergebnis einer derartigen hierarchischen Verhaltenskontrolle beschreiben. Michon (1989) beispielsweise beschreibt die Tätigkeiten des Fahrers in der nachfolgend dargestellten Hierarchie der Fahraufgabe:

Verhaltensebene	Aufgabenebene	Beispiel
Autonom	Reaktiv	Querstabilisierung
Skillbasiert	Kontrollierend	Längsstabilisierung
Regelbasiert	Manövrierend	Überholen
Wissensbasiert	Strategisch	Navigationsverhalten

Tabelle 1: Hierarchie der Fahraufgabe (nach Michon, 1989)

Allgemein kann davon ausgegangen werden, dass je höher der Anteil regel- und wissensbasierter Komponenten an der Fahraufgabe ist, umso höher sich auch die Beanspruchung des Fahrers erweist. Gerade bei Fahranfängern ist diese hierarchische Verhaltenskontrolle noch nicht in entsprechendem Maße ausgebildet. Erst mit zunehmender Übung gelingt es dem Anfänger, die Kontrolle von Aktivitäten, wie zum Beispiel das Einlegen eines Ganges, auf die autonome Fertigkeitsebene zu transferieren, bei der von einer automatischen Verarbeitung ausgegangen wird.

Das Drei-Ebenen-Fahrer-Modell (Bernotat, 1970) stellt einen ähnlichen, hierarchisch aufgebauten Ansatz dar. Dieses Modell unterscheidet die Teilaufgaben „Navigation“, „Bahnführung“ sowie „Stabilisierung“ des Fahrzeugs:

- Auf der Stabilisierungsebene besteht die Aufgabe des Fahrers darin, einen ihm vorgegebenen Sollzustand (Querstabilisierung: Halten des Fahrzeugs in der Fahrspur; Längsstabilisierung: Abstands- und Geschwindigkeitsanpassung an den umgebenden Verkehr) zu erreichen und diesen aufrechtzuerhalten. Abweichungen zwischen Ist- und Sollzustand werden durch Korrekturmanöver ausgeglichen. Diese Tätigkeiten können als weitgehend automatisiert bzw. routiniert angesehen werden.
- Auf der Bahnführungsebene wird eine detaillierte, lokale Planung der Fahrzeugbewegungen vorgenommen. Hierzu gehört beispielsweise auch die geplante Wahl des Abstands und der Fahrspur. Sie ist beim Lösen aktueller, kurzfristiger Probleme wie Überholen, Entscheidungssituationen an Ampeln bezüglich Anhalten/Weiterfahren, Suchen nach relevanten Reizen und genereller Wachsamkeit beteiligt.
- Auf der Navigationsebene legt der Fahrer vorab eine Route fest, um ein gewünschtes Ziel zu erreichen. Die Auswahl der Route erfolgt aufgrund eigener Erfahrungen

(Ortskenntnis, „Schleichwege“) oder aber aufgrund objektiver Informationen (Kartenmaterial, aktuelle Verkehrsmeldungen).

Die unterschiedlichen Modelle haben die Gemeinsamkeit, dass sie von einem hierarchischen Aufbau der Ebenen ausgehen - die einzelnen Ebenen sind also nicht unabhängig zu betrachten, sondern die übergeordnete Ebene liefert jeweils die Vorgabe für die untergeordnete Ebene.

Rasmussen (1983) schließlich differenziert in seiner Klassifikation, die nicht auf die Fahraufgabe beschränkt ist, drei Ebenen: die fähigkeitsbasierte, die regelbasierte und die wissensbasierte Ebene. Ihm zufolge werden menschliche Fähigkeiten wie folgt ausgeführt:

- a) Fähigkeit-basierte Ebene: in vertrauten Situationen werden menschliche Handlungen von gespeicherten Verhaltensmustern automatisch gesteuert (Fehler entstehen durch Veränderungen der Kraft-, Raum- oder Zeitkoordination).
- b) Regelbasierte Ebene: bei vertrauten Problemen werden Regeln der Form „Wenn-Dann“ aktiviert (Fehler entstehen hier durch beschränkte Ressourcen und unvollständiges Wissen).
- c) Wissensbasierte Ebene: hier muss auf das berechnungsstarke, aber langsame, serielle und mühsame logische Denken zurückgegriffen werden.

Diese hierarchische Unterteilung der menschlichen Fähigkeiten von Rasmussen kann auch auf den speziellen Fall der zeitkritischen Fahrsituationen angewandt werden. Im Folgenden wird der Versuch unternommen, die Aktivitäten vor und während der zeitkritischen Fahrsituation entsprechend zu klassifizieren:

Fähigkeitsbasierte Aktivitäten

Vor dem Einleiten eines Spurwechsels bzw. eines Überholmanövers hat der Fahrer eine Reihe überwachender, sensorischer Aufgaben zu erfüllen, die je nach Verkehrsdichte, Sichtverhältnissen und gegebenenfalls auftretender ablenkender Reize innerhalb und ausserhalb des Fahrzeugs unterschiedlich belastend wirken kann. So muss er sowohl den Nahbereich (bspw. den Abstand zum Vorfahrenden) sowie den Fernbereich (entgegenkommende oder sich schnell von hinten annähernde Fahrzeuge) des Fahrzeugs überwachen. Mit dem Beginn des Manövers kommen eine Reihe motorischer Aktivitäten hinzu:

- Blinker setzen
- Kupplung betätigen, Zurückschalten, Beschleunigen
- Schulterblicke zur Überwachung des toten Winkels
- Einleiten des Spurwechsels durch Lenkbewegung

Regelbasierte Aktivitäten

Die regelbasierte Ebene ist in erster Linie durch eine „Wenn-Dann-Systematik“ charakterisiert, die stark vom Erfahrungsschatz des Fahrers abhängig ist. Diese Regeln können die weitere Sichtbarkeit des Straßenverlaufs („Erst wenn ich wieder auf der Geraden bin, kann ich überholen.“) oder aber auch die Zeitlücke zu einem sich von hinten annähernden Fahrzeug („Unter Kenntnis meines eigenen Beschleunigungspotentials ist der Abstand groß genug um auszuscheren.“) betreffen. Relativ einfache Wenn-Dann-Regeln können frühzeitig zu einem Abbruch des Manövers führen bzw. mögliche Konflikte vermeiden.

Wissensbasierte Aktivitäten

Diese „komplexeste“ Gruppe von Aktivitäten nutzt menschliches Wissen und den menschlichen Erfahrungsschatz zur Situationsbewertung im Vorfeld zeitkritischer Fahrmanöver. Während der Ausführung des Manövers ändern sich permanent die Bedingungen (Sicht, Verkehrskonstellation etc.), woraufhin die Situationsbewertung ständig neu durchgeführt werden muss. Dabei dienen als Kriterien:

- Erfahrungswissen über den möglichen weiteren Straßenverlauf
- Rückschlüsse aus der Bebauung und Verkehrsführung
- Erfahrungswissen über das wahrscheinliche Fahrverhalten anderer Verkehrsteilnehmer
- Erfahrungswissen über mögliche Änderungen der Sichtbedingungen

2.4.2 Fehler während zeitkritischer Fahrmanöver

Unter einem menschlichen Fehler wird in der kognitiven Psychologie eine Handlung bezeichnet, deren Durchführung oder deren Ergebnis im Widerspruch zur Absicht des Akteurs steht (Reason, 1990). Zunächst sollen an dieser Stelle in kurzer Form kognitionspsychologische Ansätze zur Klassifizierung menschlicher Fehlhandlungen vorge-

stellt werden. Nach dieser Darstellung wird versucht, diese Einteilung für den speziellen Fall der Fehler während zeitkritischer Fahrsituationen zu übernehmen.

Zunächst ist es sinnvoll, zwei Arten von Fehlverhalten zu unterscheiden: Auf der einen Seite stehen die „Irrtümer“, auf der anderen Seite die „Fehler“ im engeren Sinn (Norman, 1981; Reason, 1990).

- Irrtümer sind dadurch gekennzeichnet, dass man etwas tut, von dem man denkt, es sei richtig bzw. ungefährlich. Die Handlung ist bewusst gesteuert und erfolgt absichtlich. Nicht beabsichtigt ist die Konsequenz dieser Handlung; mit ihr hat man nicht gerechnet, ihre Eintretenswahrscheinlichkeit hat man unterschätzt.
- Fehler im engeren Sinn sind hingegen sind Handlungen, die nicht beabsichtigt sind, die unter Umständen sogar gegen den eigenen bewussten Willen ablaufen können.

Beim Irrtum führt man also mit Absicht etwas aus, was man fälschlicherweise für richtig hält, beim Fehler weiss man, dass es falsch ist, aber es passiert einem trotzdem.

Von den im vorhergehenden Kapitel dargestellten Überlegungen Rasmussens kann eine direkte Verbindung zu Reasons Fehlerklassifikation (Reason, 1990) hergestellt werden. Reason stellt durch sein „Generisches Fehler-Modellierungs-System“ einen Zusammenhang zwischen den drei Ausführungsebenen und drei grundlegenden Fehlertypen her:

(1) fähigkeitsbasierte Ebene - Patzer und Schnitzer

Diese Arten von Fehlern lassen sich entweder auf *Unaufmerksamkeit* zurückführen (an kritischen Punkten wird versäumt, die notwendige Aufmerksamkeitsüberwachung durchzuführen, Kontrollversäumnis) oder aber auf *Überaufmerksamkeit* (während einer routinemäßigen Handlungssequenz erfolgt eine Aufmerksamkeitskontrolle an einer ungünstigen Stelle).

(2) regelbasierte Ebene - regelbasierte Fehler

Fehler dieser Ebene beruhen entweder auf der *Anwendung von schlechten Regeln* (die Regel ist schlichtweg falsch oder aber zumindest unelegant) oder aber auf der *fehlerhaften Anwendung guter Regeln* (Regeln, die in einer bestimmten anderen Situation ihre Nützlichkeit unter Beweis gestellt haben, sind aktuell unangebracht).

(3) wissensbasierte Ebene - wissensbasierte Fehler

Fehler auf der dritten Ebene schließlich beruhen laut Reason entweder auf einer „*begrenzten Rationalität*“ (Probleme mit der Komplexität oder der Kausalität bzw. Beschränkungen im „Workspace“ des Anwenders) oder aber auf einem unvollständigen bzw. unangemessenen *mental*en Modell des Anwenders hinsichtlich des Problemraums.

All diese Tendenzen der Informationsverzerrung können zusätzlich durch starke Belastung wie Stress oder Ermüdung verstärkt werden. Unter Belastung ...

- verengt sich das Gesichtsfeld des Menschen: Wir nehmen weniger wahr und konzentrieren uns auf wenige Informationen (Widdel, 1990).
- vereinfacht sich die Denk- und Handlungsstruktur des Menschen (Reason, 1990). Oft zeigt sich ein verstärktes Auftreten von „riskanteren“ Handlungsstrategien in der Art, dass zugunsten einer schnelleren Entscheidung oder Handlungsausführung die Genauigkeit verringert wird (Wickens, 1992).

So konnte Wendrich (1973) zeigen, dass Steuerstandsmaschinisten einer Walzstrasse gegen Schichtende – also wenn sie schon müde waren – vermehrt „Hasardstrategien“ einsetzen. Dabei handelt es sich um Vorgehensweisen, die vordergründig möglichst wenige Schaltungen erfordern, auch wenn damit ein grösseres Risiko verbunden ist, Fehler mit hohem Korrekturaufwand zu begehen (vgl. auch Dörner & Pfeiffer, 1992).

- konzentriert der Mensch alle Entscheidungen auf sich selbst und delegiert weniger. Wir sammeln alle Informationen, obwohl wir schlechter in der Lage sind, sie zu verarbeiten (Brehmer, 1987).
- entsteht eine Tendenz zur Vereinfachung von Handlungen, häufig in Form alter „Automatismen“ (Reason, 1990). Gerade wenn unsere Aufmerksamkeit auf andere Dinge gerichtet ist und zugleich die richtigen „Auslösebedingungen“ vorliegen, können alte Routinen wieder auftauchen.

Die dargelegten Erkenntnisse deuten darauf hin, dass der Fahrer gerade in den beanspruchenden zeitkritischen Situationen, die von ihm die gleichzeitige Überwachung verschiedenster Wahrnehmungsobjekte erfordert, anfällig für eine verzerrte, vereinfachte oder auch risikofördernde Informationsverarbeitung wird, die zudem bestimmte Feh-

lerarten begünstigt. Als besonders sicherheitsrelevant erscheint hierbei der von Reason beschriebene Fehlertyp des Kontrollversäumnisses.

2.4.3 Aufgabenanalyse während zeitkritischer Fahrsituationen

2.4.3.1 Modellierung des Handlungsablaufs während zeitkritischer Fahrsituationen

Um einen Effekt der induzierten Ablenkung auf den Handlungsablauf in den zeitkritischen Fahrsituationen nachweisen zu können, ist es nötig, die Anforderungen an den Fahrer aufzuschlüsseln und den Handlungsablauf zu spezifizieren, also eine Aufgabenanalyse der betreffenden Situationen anzustellen. Das folgende Schema kann als zeitliche Handlungssequenz verstanden werden und ist relativ allgemein gehalten. Für den speziellen Fall des Spurwechsels soll später ein eigenes Ablaufschema erstellt werden.

	Kategorie	Beginn	Abhängige Variablen
1	Annäherungsphase	Wahrnehmbarkeit des Objekts	
2	Orientierungsphase	Beginn der Verhaltensänderung	Defizit bei Sicherungsverhalten? Verkürzte Orientierungsphase?
3	Handlungsphase	Änderung in Längs- bzw. Querstabilisierung	Abstand zum Hindernis Spurhaltung
4	Wiedereinpendeln	Passieren des Hindernisses	Zeit bis zum Erreichen stabiler Fahrt

Tabelle 2: Handlungsablauf während zeitkritischer Fahrsituationen

Annäherungsphase

Ausgangspunkt eines zeitkritischen Fahrmanövers ist die Beurteilung der vorausliegenden Verkehrssituation, die beim Fahrer den Wunsch entstehen lässt, ein entsprechendes Manöver (Ausscheren, Überholen, Einfädeln etc.) durchzuführen. Dabei wird eine Abschätzung von Abständen und Relativgeschwindigkeiten relevanter Fremdfahrzeuge vorgenommen und anhand dieser die Möglichkeit zur Ausführung geprüft. Gleichzeitig entsteht eine interne Repräsentation der aktuellen Verkehrssituation, die auch die wahrscheinliche, zukünftige Entwicklung der Verkehrskonstellation beinhaltet.

Orientierungsphase

Diese Phase kann noch nicht anhand fahrdynamischer Parametern festgemacht werden. Vielmehr ist der Beginn dieser Phase objektiv anhand der Veränderung der Blickaktivität zu bestimmen. Der Fahrer versucht, das Geschehen auf der Straße zu erfassen, sichert verstärkt durch Blicke in den Rückspiegel bzw. in den Innenspiegel nach hinten hin ab und überwacht auch den vorausfahrenden bzw. entgegenkommenden Verkehr.

Nachdem für den Fahrer die Durchführbarkeit des Manövers gegeben ist, muss er eine Planung der Fahrzeugbewegung vornehmen. Dabei gehen unterschiedliche physikalische Maße wie Eigen- und Fremdgewindigkeit, Beschleunigung, Abstände und auch der Straßenverlauf in seine „Berechnungen“ mit ein.

Handlungsphase

Das Einsetzen der Handlung kann anhand fahrdynamischer Parameter bestimmt werden. Ziel ist es, ein möglichst einfaches Maß zu finden, das Beginn und Ende der Aktion bestimmt und es ermöglicht, die Festlegung der Grenzen automatisiert ablaufen zu lassen.

Während des Manövers findet eine permanente Bewertung der Situation unter Einbeziehung neuer Informationen statt, die sich möglicherweise aus einem neuen Sichtwinkel und der sich verändernden Verkehrskonstellation ergeben. Zudem muss der Fahrer jederzeit bereit sein einzugreifen, wenn beispielsweise Leistungsgrenzen des Fahrzeugs beim Überholen erreicht werden oder ein Abbruch des Manövers angezeigt ist.

Phase des Wiedereinpendelns

Der Beginn des Wiedereinpendelns wird durch das Ende der Handlungsphase bestimmt. Nun muss zusätzlich ein Kriterium definiert werden, welches das Wiedererreichen normaler, störungsfreier Fahrt kennzeichnet. Dieses Maß muss über einen längeren Zeitraum hinweg beobachtet werden und darf dann keine allzu große Varianz mehr aufweisen („stabile Fahrt“).

Im Falle eines Spurwechsels ist es die Aufgabe des Fahrers, einen geeigneten Querabstand auf der Zielfahrspur zu finden und wieder einzuregeln. Wenn sich zudem Fremdfahrzeuge auf der Zielfahrspur befinden, wie dies beispielsweise auf Autobahnen der Fall sein kann, muss auch der korrekte Längsabstand zum umgebenden Verkehr möglichst schnell wiederhergestellt werden.

Van Winsum, de Waard und Brookhuis (1999) kamen in einer Simulatoruntersuchung von 48 Spurwechseln zu dem Ergebnis, dass das Spurwechselmanöver in drei aufeinanderfolgende Phasen unterteilt werden kann: In einer ersten Phase erreicht der Lenkausschlag ein Maximum, woraufhin das Lenkrad wiederum in die entgegengesetzte Richtung eingeschlagen wird. Die zweite Phase endet, wenn sich das Fahrzeug maximal versetzt zur Fahrtrichtung bewegt, was im Normalfall mit dem Umkehrpunkt des Lenkradwinkels bei Null Grad gleichzusetzen ist. In der dritten Phase wird das Fahrzeug in der Zielfahrspur stabilisiert, indem ein zweites Lenkradwinkelmaximum mit entgegengesetztem Vorzeichen erreicht wird:

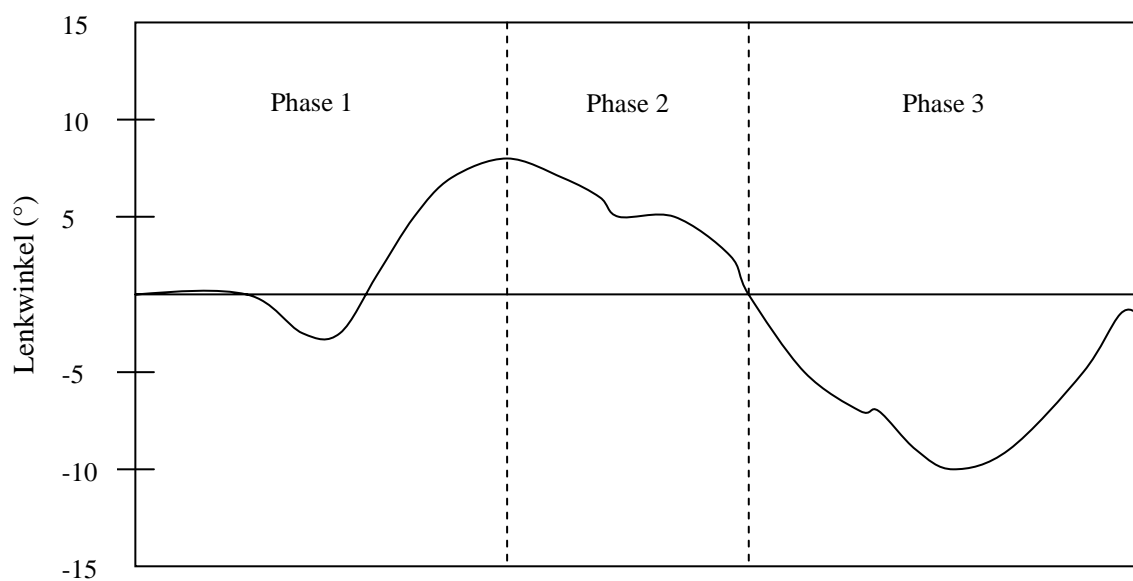


Abbildung 2: Beispiel für den zeitlichen Ablauf eines Spurwechselmanövers anhand des Lenkwinkels (nach van Winsum et al., 1999)

Van Winsum et al. (1999) stellten weitergehend fest, dass das Fahrverhalten in den einzelnen Phasen vom Verlauf der jeweils vorhergehenden abhängt und der Fahrer dabei das Ziel verfolgt, gesetzte Sicherheitsschwellen nicht zu überschreiten: Während der ersten Phase wird die Amplitude des Lenkwinkels durch die Geschwindigkeit bestimmt, mit der das Manöver in Angriff genommen wird. In der zweiten Phase hängt die Geschwindigkeit, mit der das Lenkrad in die entgegengesetzte Richtung eingeschlagen wird, von der noch zur Verfügung stehenden Zeit bis zum Erreichen der Fahrbahngrenzung zu Beginn dieser Phase ab. Somit werden kleinere TLC-Werte (Time-to-Linecrossing: noch verbleibende Zeit bis zum Erreichen der Spurbegrenzung bei gleichbleibendem Lenkwinkel) durch einen vergrößerten Lenkeinschlag in die entgegengesetzte Richtung kompensiert.

Somit kann nach van Winsum et al. (1999) davon ausgegangen werden, dass die motorische Antwort des Fahrers während des Spurwechsels, also das Lenkverhalten, flexibel anhand des visuellen Inputs während des Manövers gesteuert wird. Fahrer sind in der Lage, während des Spurwechsels zeitliche Informationen wahrzunehmen, diese zu verrechnen und ihr Lenkverhalten entsprechend anzupassen.

2.4.3.2 Modellierung des Handlungsablaufs beim Spurwechsel bzw. Überholen

In der Simulation ist es nicht möglich, Verkehrskonstellationen derart zu generieren, dass die Versuchsperson ein Fremdfahrzeug überholt und in diesem Augenblick in Abhängigkeit von dem Überholmanöver ein weiteres Fremdfahrzeug entgegenkommt. Somit kann die klassische zeitkritische Fahrsituation „Überholen bei Gegenverkehr“ nicht dargestellt werden. Daher beschränkt sich die Auswahl darstellbarer zeitkritischer Fahrsituationen in der vorliegenden Untersuchung vor allem auf das Ausweichen bzw. Überholen aufgrund plötzlich auftretender Hindernisse (langsames Fahrzeug, einfädelnde Fahrzeugkolonne, stehendes Hindernis). Es erweist sich als schwierig, das im vorhergehenden Kapitel entwickelte Handlungsmodell auf die vorliegenden Situationen anzuwenden. Daher soll für die Videoanalyse ein etwas vereinfachtes, jedoch für die gegebenen Situationen besser anwendbares Modell zur Anwendung kommen.

Dabei wird der Ausscher- bzw. Überholvorgang in die folgenden Phasen eingeteilt:

- **Annäherung bzw. Orientierung**

Der Fahrer erkennt die Situation, führt eine Situationsbewertung durch und zeigt Sicherheitsblicke im unmittelbaren Vorfeld des Ausscherens

- **Ausscheren**

Der Fahrer beginnt durch eine Änderung in Längs- bzw. Querstabilisierung einen Wechsel auf die Zielfahrspur

- **Überholen**

Der Fahrer befindet sich auf der Zielspur (in der Regel auf der linken Fahrspur der Autobahn) und passiert dabei das zu überholende Fahrzeug

- **Wiedereinscheren**

Der Fahrer wechselt wiederum durch eine Änderung in Längs- bzw. Querstabilisierung in die Ausgangsfahrspur zurück

– **Einpendeln**

Abschließend hat der Fahrer die Aufgabe, einen geeigneten Querabstand auf der Zielfahrspur zu finden und wieder einzuregeln

2.5 Zusammenfassung

Im Kapitel 2 wurde der Versuch unternommen, zeitkritische Fahrsituationen zu klassifizieren und ihre Anforderungen an den Fahrer aufzuschlüsseln. Die dargestellten Untersuchungsergebnisse belegen, dass das zeitliche Vorfeld und die Durchführung dieser Fahrmanöver oft mit erhöhten Anforderungen an die Wahrnehmung und die Informationsverarbeitung des Fahrers einhergehen. Die Analyse von Unfällen beim Spurwechsel bzw. Überholen zeigt, dass die überwiegende Mehrheit aus einer ganz normalen und alltäglichen Fahrsituation resultiert. Einige der aufgeführten Studien betonen das Problem der fehlerhaften Geschwindigkeits- und Abstandsschätzung beim Überholen, während andere einen eher persönlichkeitspsychologisch orientierten Ansatz verfolgen und versuchen, besonders gefährdete Fahrertypen zu identifizieren. Darüberhinaus spielt die Vorgeschichte des Überholmanövers eine wichtige Rolle bei der Entscheidung auszuscheren. Der Fahrer hat die Absicht, den Vorfahrenden früher oder später auf jeden Fall zu überholen. Wenn dies beispielsweise aufgrund eines Überholverbots längere Zeit unmöglich war, führt ein Wegfall dieses Verbots zu einer oft voreiligen Überholentscheidung unter erhöhter Belastung und Anforderung an die Aufmerksamkeit.

Die Aufstellung von Untersuchungsergebnissen und Erkenntnissen der menschlichen Informationsverarbeitung zeigt, dass die Ursachen von Unfällen im Straßenverkehr meist im Zusammenwirken von Mensch, Fahrzeug und Umwelt liegen, wobei eine oder mehrere der Komponenten fehlerbehaftet sind. Häufig kann beobachtet werden, dass Fehler in der Informationsaufnahme ausschlaggebend sind. Die aufgeführten Untersuchungsergebnisse deuten darauf hin, dass der Fahrer gerade in den beanspruchenden zeitkritischen Situationen, die von ihm die gleichzeitige Überwachung verschiedenster Wahrnehmungsobjekte erfordert, anfällig für eine verzerrte, vereinfachte oder auch Risiken ignorierende Informationsverarbeitung wird, die zudem bestimmte Fehlerarten begünstigt. In betreffenden Teil des Kapitels werden unterschiedliche Fehlertypen gegenübergestellt und hinsichtlich ihrer Anwendbarkeit auf zeitkritische Fahrsituationen geprüft. Als besonders sicherheitsrelevant erscheint hierbei der von Reason beschriebene Fehlertyp des Kontrollversäumnisses.

Um einen möglichen Effekt der induzierten Ablenkung auf den Handlungsablauf während der zeitkritischen Fahrsituationen nachweisen zu können, ist es nötig, den Handlungsablauf während dieser Manöver ausführlich zu beschreiben, also eine Art Aufgabenanalyse der betreffenden Situationen anzustellen. Zu diesem Zweck wird der Ablauf eines zeitkritischen Fahrmanövers in die Phasen „Annäherung“, „Orientierung“, „Handlung“ und „Wiedereinpendeln“ untergliedert und die Anforderungen an den Fahrer spezifiziert. Diese Systematik soll im experimentellen Teil der vorliegenden Arbeit wieder aufgegriffen werden und als Grundlage für die Beschreibung des Fahrerverhaltens dienen.

Kapitel 3

3 Methodische Ansätze zur Messung der Ablenkungswirkung von Zusatzaufgaben

3.1 Modellvorstellungen zur geteilten Aufmerksamkeit

Zur Messung der Beanspruchung bei der Bedienung technischer Systeme werden seit jeher unterschiedliche Paradigmen eingesetzt, die allesamt als Ausgangspunkt den Ansatz aufweisen, dass der Mensch nur über eine begrenzte Aufmerksamkeitskapazität verfügt, egal ob diese global betrachtet wird (Bsp. Kahnemann, 1973) oder multipel (Bsp. Wickens, 1992).

- Aufgrund seiner Ergebnisse und der Befunde aus anderen Untersuchungen mit der Beschattungstechnik formulierte Broadbent (1958) ein Filtermodell der selektiven Wahrnehmung. Ihm zufolge können auf der Rezeptorebene gleichzeitig eintreffende Signale noch simultan aufgenommen werden und gelangen so in einen Kurzzeitspeicher. Bevor sie jedoch die Verarbeitungsmechanismen für eine tiefere Verarbeitung erreichen können, müssen sie einen Filter passieren, der eine Selektion der ursprünglichen Information vornimmt. Somit wird das kapazitätsbegrenzte, serielle Verarbeitungssystem, das für die tiefergehende, semantische Verarbeitung zuständig ist, vor Überlastung geschützt. Auf die Fahrzeugführung übertragen, würde dieser Ansatz zu dem Schluss führen, dass der Fahrer bewusst zwischen dem Fahrer und der Nebentätigkeit hin- und herschalten muss. Falls sein Aufmerksamkeitsfokus auf der Nebentätigkeit liegt, können ihn gegebenenfalls Informationen aus der Verkehrsumwelt nicht erreichen.

Broadbent integrierte mit dieser Theorie unterschiedliche Erkenntnisse der Lern-, Gedächtnis- und Wahrnehmungspsychologie, konnte jedoch bestimmte Phänomene wie das Cocktail-Party-Phänomen (Wahrnehmung des eigenen Namens im Stimmengewirr) oder auch die Ergebnisse von Treisman (1960, 1964) nicht befriedigend erklären. Treisman konnte zeigen, dass Mitteilungen nicht allein nach physischen Eigenschaften, sondern auch aufgrund der Bedeutung verarbeitet werden. Sie formulierte die Abschwächungs-Theorie der selektiven Aufmerksamkeit (Filter-Atte-

uation-Theorie), wonach eingehende Botschaften nach den physikalischen Eigenschaften, nach dem Muster von Silben und Wörtern, sowie der Wortbedeutung analysiert werden.

- Auch Kahnemann (1973) geht von einem Modell der Aufmerksamkeit als einer eingeschränkten Ressource aus. Er postuliert eine zentrale Verarbeitungseinheit (central processor), die unsere Aufmerksamkeit „zuteilt“. So kann das Verkehrsgeschehen unsere gesamte Aufmerksamkeit beanspruchen. Wir stellen die Unterhaltung ein, solange bis wieder Aufmerksamkeitressourcen zur Verfügung stehen. Dies impliziert auch, dass nur wenige Anzeigeeinstrumente gleichzeitig erfasst werden können und dass die Steuerung durch parallele Nutzung mehrerer Informationsquellen entsprechend eingeschränkt ist. Es hat sich jedoch in der Aufmerksamkeitsforschung gezeigt, dass diese Vorstellung nicht ausreicht, um verschiedene Phänomene der geteilten Aufmerksamkeit erklären zu können und dass neben der Höhe der Beanspruchung auch die Aufgabenstruktur mit einbezogen werden muss.
- Rasmussen (1983) unterscheidet in diesem Zusammenhang graduell nach dem Ausmaß der bewussten Kontrolle, beginnend bei Fertigkeiten auf dem Reiz-Reaktions-Niveau über regelgeleitetes Verhalten bis hin zum problemlösenden Handeln. Diese einzelnen Stufen unterscheiden sich voneinander hinsichtlich der Anforderung an die zentralen Informationsverarbeitungsprozesse und damit hinsichtlich der Beanspruchung des Fahrers. Nach Zimmer (2000) lässt sich eine derart komplexe Steuerungsaufgabe, die zudem zeitkritische Anforderungen aufweist, nur durch die Optimierung der Abfolge von Ablese-, Interpretations- und Exekutionsprozessen lösen.
- Die Theorie der multiplen Ressourcen von Wickens (1992) geht im Unterschied zu den oben beschriebenen Modellvorstellungen davon aus, dass Beeinträchtigungen von Informationsverarbeitungsprozessen vor allem dann zu erwarten sind, wenn gleichzeitig mehrere Reize über einen und denselben Sinneskanal aufgenommen und verarbeitet werden müssen (vgl. Abbildung 3). Bei entsprechend gestalteten Zuordnungsbedingungen zwischen Anzeigeeinstrumenten und Ausführungsbewegungen interagieren zum Beispiel der visu-motorische und der akustisch-sprachliche Kanal nicht miteinander. Simultane Verarbeitung mehrerer Informationen wird also dann erleichtert, wenn die Aufgaben so strukturiert sind, dass die Information gleichmäßig zwischen den verschiedenen Eingabekanälen verteilt wird.

Verwey und Janssen (1988) folgern beispielsweise aus diesem Modell, dass einfache visuelle Information weniger störend wirkt als auditive Information, gleichzeitig aber stärker mit der Fahraufgabe interferiert. Daher seien Vorhersagen bezüglich der optimalen Modalität der Informationsdarbietung nur schwer anzustellen.

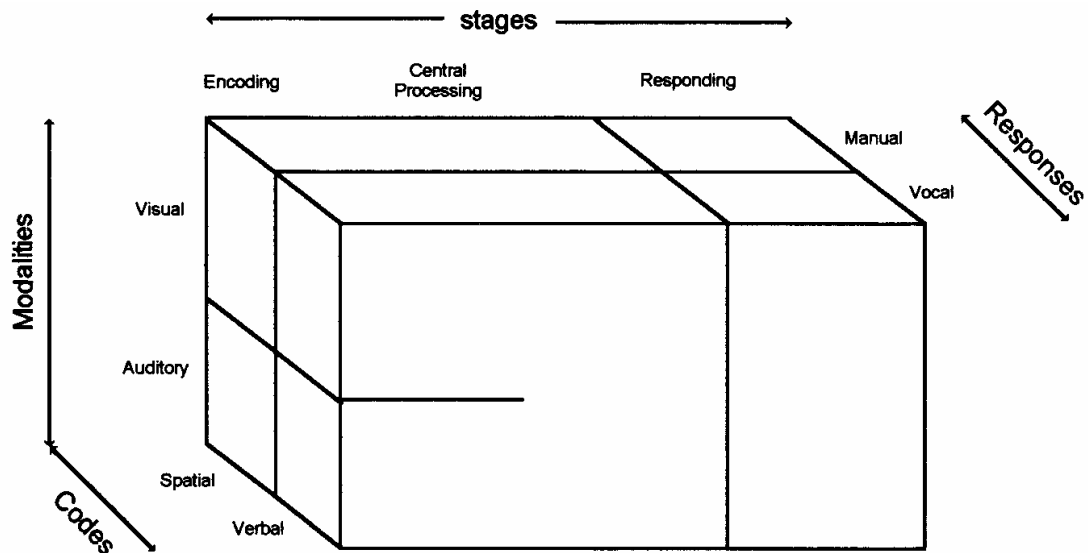


Abbildung 3: Modell multipler Ressourcen des menschlichen Verarbeitungssystems (nach Wickens, 1987)

Wissenschaftler der University of Reading (Horswill & Mckenna, 1999) untersuchten in der Fahrsimulation, welche unerwünschten Folgen Multitasking im Fahrzeug haben kann. Versuchspersonen mussten wie Autofahrer auf wirkliche und risikobehaftete Verkehrssituationen auf einem Bildschirm reagieren und gleichzeitig einfache verbale Aufgaben erledigen. Im Unterschied zur Vergleichsgruppe, die sich auf das virtuelle Verkehrsspiel konzentrieren konnten, stieg bei den Multitasking-Kandidaten die Wahrscheinlichkeit, dass sie riskantere Entscheidungen trafen, also etwa näher an das vorausfahrende Fahrzeug herankommen oder signifikant langsamer reagierten. Daraus schlossen die Forscher, dass beispielsweise telefonierende Fahrzeuglenker am Steuer für die übrigen Verkehrsteilnehmer eine potentielle Gefahr darstellen. Andererseits nahm beim simulierten Fahren auch die Genauigkeit bei der Lösung der verbalen Aufgaben ab. Sprechen benötigt somit auch Ressourcen, die von der Konzentration auf das Fahren abgezogen werden.

3.2 Beanspruchung beim Führen eines Kraftfahrzeugs

Harms (1986) wies nach, dass die Fahrerbelastung auf definierten Straßenabschnitten in einem direkten Zusammenhang mit den dort zu verzeichnenden Unfallzahlen steht. Diese Tatsache führt zu dem Schluss, dass die Verkehrssicherheit erhöht werden kann, wenn es möglich ist, die auftretende Beanspruchung – also die durch Verkehr, Straßeneigenschaften oder Ablenkung innerhalb des Fahrzeugs bedingte Beanspruchung (engl. „Workload“) – zu kontrollieren.

Beanspruchung bzw. Workload als theoretisches Konstrukt kann nicht direkt beobachtet werden und muss daher aus anderen Leistungsmaßen abgeleitet werden. Ähnlich wie die menschliche Aufmerksamkeit wird Workload als intervenierende Variable betrachtet „which modulates the tuning between the demands of the environment and the capabilities of the organism“ (Kantowitz & Casper, 1998, S. 158).

Bei der Analyse und Gestaltung von Mensch-Maschine-Systemen ist allgemein die Messung der Beanspruchung des Operators sowie, damit verbunden, die Aufdeckung geeigneter Bewertungsmaße und –verfahren von besonderer Bedeutung. Die Begriffe Leistung, Belastung und Beanspruchung werden dabei oft synonym verwendet, bedürfen an dieser Stelle aber einer näheren Erläuterung. Für die Unterscheidung von Belastung und Beanspruchung kann ein Konzept von Johannsen (1993) herangezogen werden, in dem er deren Beziehungen unter Angabe von Einflussgrößen und Messmöglichkeiten darstellt.

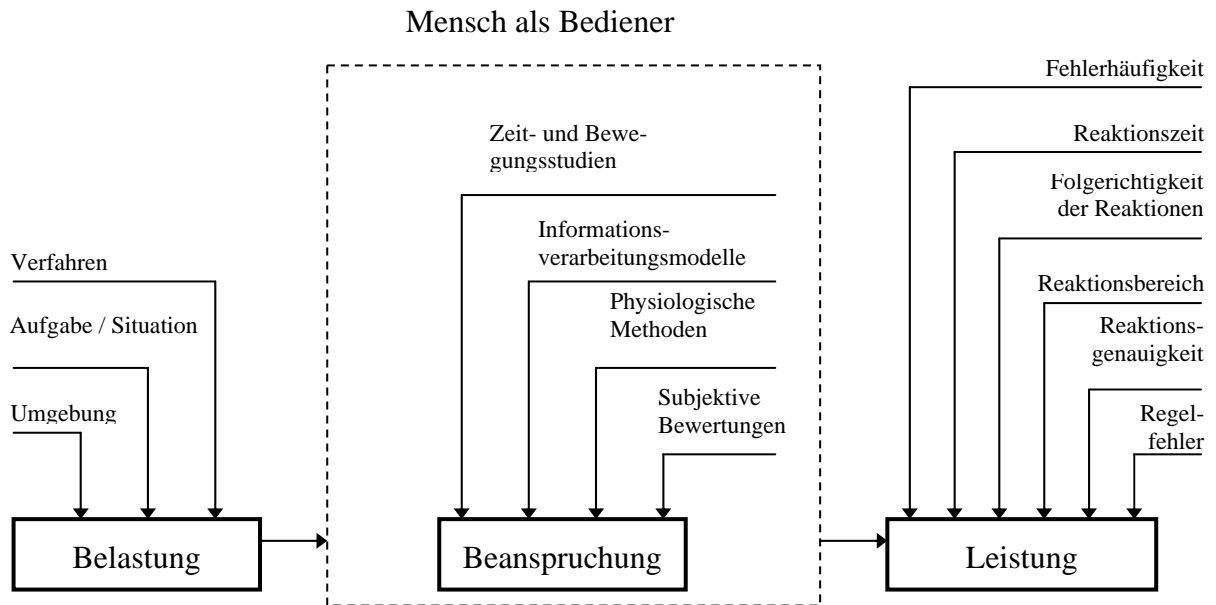


Abbildung 4: Zusammenhang zwischen Belastung, Beanspruchung und Leistung (nach Johannsen, 1993)

In dem dargestellten Modell wird die Belastung als Eingangsgröße, die Leistung als Resultat und die nicht-beobachtbare Beanspruchung im Menschen unterschieden. Dies impliziert, dass die Belastung sowie die Leistung objektiv messbar sind, dass es sich bei der Beanspruchung jedoch um eine subjektive Empfindung des Menschen handelt, die nur indirekt gemessen werden kann.

Die Beanspruchung ist somit nach Johannsen (1993) eine Funktion

- der Belastungsgrößen am Eingang
- des Zustands des Menschen, der die Aufgabe zu erfüllen hat, und
- des internen Leistungskriteriums, das sich der Mensch vorgegeben hat.

Da die Beanspruchung nicht direkt messbar ist und somit ein Konstrukt der Psychologie darstellt, muss sie über indirekte Messmethoden erfasst werden. Johannsen fasst diese Messmethoden in die folgenden vier Kategorien zusammen:

1. Zeit- und Bewegungsstudien: Diese stellen klassische ergonomische Methoden dar, mittels derer die Zeiten für einzelne Handlungs- und Bewegungsabläufe ermittelt werden.
2. Betrachtung des Menschen als informationsverarbeitendes System: Hierbei wird entweder die Leistung in Nebenaufgaben oder aber regelungs- bzw. systemtechnische Maße ermittelt. Dabei wird davon ausgegangen, dass der Mensch nur eine be-

grenzte Informationsverarbeitungskapazität besitzt, deren Auslastung wiederum nicht direkt messbar ist. Die mentale Restkapazität wird daher mittels der Leistung in der simultan auszuführenden Nebenaufgabe gemessen.

3. Physiologische Messmethoden: Hierbei wird versucht, ausgehend von der Aktivierungstheorie, den Aktivierungsgrad des Menschen als Beanspruchungsindikator zu nehmen und für diesen unterschiedliche physiologische Größen wie beispielsweise Blutdruck oder den Herzschlag heranzuziehen.
4. Subjektive Bewertungen der Beanspruchung: Zur Erfassung der Beanspruchung werden hier oft Bewertungsskalen verwendet, die zwischen den Extremen „sehr niedrige Beanspruchung“ und „sehr hohe Beanspruchung“ eine retrospektive Selbsteinschätzung der Probanden hinsichtlich der gerade zurückliegenden Aufgabensituation einfordern.

3.3 Methoden zur Beanspruchungsmessung

Maße zur Messung der Workload können allgemein einer der folgenden Kategorien zugeordnet werden. Diese sollen im Anschluss näher erläutert werden:

- Objektive Leistungsmaße (in der Primär- oder Sekundäraufgabe)
- Subjektive Maße
- Physiologische Maße
- Blickregistrierung

3.3.1 Objektive Maße der Beanspruchung

Maße der Primäraufgabe

Bei dieser Vorgehensweise wird die Versuchsperson instruiert, die Nebentätigkeit beizubehalten, auch wenn dies zu einer Verschlechterung der Hauptaufgabe führt. Wenn beispielsweise gemessen werden soll, wie die Fahrleistung durch die Bedienung eines Bordsystems oder auch durch Müdigkeit beeinflusst wird, kann die Fahrleistung selbst, also zum Beispiel das Geschwindigkeitsverhalten, die Lenktätigkeit, oder auch die Spur- bzw. Abstandshaltung, gemessen werden. Die Messung besteht in der Bestimmung des Leistungsunterschieds zwischen der Fahrt unter Beanspruchung und einer Fahrt ohne die betreffenden Stressoren, also einer Kontrollbedingung. Neben den ge-

nannten fahrdynamischen Parametern kann beispielsweise auch die Fehleranzahl oder die Reaktionszeit als Parameter dienen.

In einer Untersuchung von Verwey und Veltman (1996) mussten die Probanden neben der Fahraufgabe unterschiedliche visuelle Zusatzaufgaben während der Fahrt durchführen. Die Geschwindigkeit wurde durch die Nebenaufgabe nicht beeinflusst, während die Lenktätigkeit (steering reversal rate) durch die zusätzliche Belastung abnahm. Mit Hilfe der Lenkradwinkeldaten kann der Regelaufwand des Fahrers berechnet werden, indem das Leistungsspektrum der Lenkbewegungen des Fahrers analysiert wird. Dabei wird der Anteil von hochfrequenten Lenkbewegungen zu niederfrequenten Lenkbewegungen in Beziehung gesetzt. Der prozentuale Anteil der hochfrequenten Lenkbewegungen kann als objektives Maß der Fahrerbeanspruchung interpretiert werden. Je höher der Anteil, desto größer die Fahrerbeanspruchung (Macdonald & Hoffmann, 1980).

Haigney, Taylor und Westerman (2000) untersuchten in der Fahrsimulation den Einfluss des Telefonierens auf die Fahrleistung. Das Telefongespräch beinhaltete die folgende kognitive Aufgabe: es wurden 5 Buchstaben angezeigt, gefolgt von einer Aussage über die Position zweier darin vorkommender Buchstaben. Die 30 Probanden sollten die Aussage als „richtig“ oder „falsch“ klassifizieren. Bei der Untersuchung der „Häufigkeit des Schaltens“ zeigte sich die Tendenz, dass die Probanden in den Phasen während und nach dem Telefongespräch weniger schalteten. Zudem übte die Art des Telefonats (Hand-held vs. Freisprecheinrichtung) einen signifikanten Einfluss auf die Häufigkeit des Verlassens der Fahrspur aus.

Maße der Sekundäraufgabe

Werden eine Haupt- und eine Nebenaufgabe gleichzeitig durchgeführt, so weist eine Abnahme in der Leistung der Nebentätigkeit auf erhöhte Belastung durch die Hauptaufgabe hin (Paradigma der Doppeltätigkeit; Bornemann, 1942). Somit ist es möglich, anhand der Messung der Leistung in der Nebentätigkeit die eigentlich nicht beobachtbare Beanspruchung durch die Hauptaufgabe zu quantifizieren. Der Leistungsunterschied zwischen den beiden Bedingungen - mit und ohne gleichzeitige Bearbeitung der Hauptaufgabe - dient als Messung bzw. Workload-Index. Hier geht man also von der Annahme aus, dass die Hauptaufgabe - in unserem Fall also die Fahrzeugführung - durch die Nebenaufgabe nicht beeinflusst wird.

Einige Bedingungen müssen jedoch beim Einsatz von Nebenaufgaben berücksichtigt werden. So soll die Hauptaufgabe durch die gleichzeitige Ausführung der Nebenaufgabe nicht oder nur sehr wenig gestört werden. Desweiteren soll die Nebenaufgabe möglichst einfach sein und in ihrer Art von der Hauptaufgabe verschieden. Die Geschwindigkeit der Ausführung soll zudem von dem Probanden bestimmt werden können.

In der verkehrspsychologischen Forschung, vor allem in der Fahrzeugergonomie, hat sich jedoch in den letzten Jahren eine etwas unterschiedliche Vorgehensweise durchgesetzt. Danach wird der Proband instruiert, die Nebenaufgabe beizubehalten und die Verschlechterung der Leistung in der Hauptaufgabe gemessen. Diese Form der Aufgabenstellung wurde in den letzten Jahren vor allem dazu verwendet, um die ergonomische Gestaltung von Anzeigen- und Bedienelementen sowie deren Ablenkungswirkung, aber auch die Effekte verschiedener Typen von Stressoren auf die Leistung in der Primäraufgabe zu bewerten. Bedacht werden muss hierbei die Gefährdung, die bei Untersuchungen im Straßenverkehr auftreten kann, wodurch unter Umständen eine Verwendung der Fahrsimulation in Betracht gezogen werden sollte.

In einer Laboruntersuchung von Uno und Hiramatsu (2000) wurde ein Verfahren zur quantitativen Bestimmung der nicht-visuellen Ablenkung (Aufmerksamkeitsablenkung) angewandt, das von der Annahme ausgeht, dass die Aufmerksamkeitsablenkung zu einer Reduzierung der Fahrkapazität führt, die durch die Konzentration auf nicht im direkten Zusammenhang mit der Aufgabe „Fahren“ stehende Ereignisse verursacht wird. Die gesamte mentale Kapazität der Probanden wurde anhand einer Erkennungs- und Reaktionsaufgabe berechnet, die Reservekapazität (spare mental capacity) bestimmten die Forscher durch die simultane Ausführung einer arithmetischen Aufgabe in drei Schwierigkeitsstufen. Daraufhin wurde experimentell der Einfluss der Aufmerksamkeitsablenkung auf das Fahrverhalten unter den Bedingungen „Spurwechsel bei konstanter Geschwindigkeit“ und „Spurwechsel mit Ausführung arithmetischer Aufgaben in drei Schwierigkeitsstufen“ untersucht. Die Ergebnisse zeigen, dass sich die Geschwindigkeitskontrolle verschlechtert und auch die physiologischen Messungen anschlagen, wenn die Reservekapazität unter einen Wert 7 bits/s bzw. 6 bits/s sinkt.

O'Donnell und Eggemeier (1986) geben eine Übersicht über acht Klassen von Sekundäraufgaben, die häufig eine experimentelle Anwendung finden:

- Wahlreaktionsaufgaben
- Tracking
- Monitoring
- Gedächtnisaufgaben
- Kopfrechnen
- Shadowing
- Einfache Reaktionsaufgaben
- Zeitschätzen

Beanspruchung während der Bearbeitung dieser Aufgaben resultiert zumeist in einer erhöhten Fehlerhäufigkeit: So kommt es beispielsweise bei Trackingaufgaben zu starken Abweichungen vom Sollkurs, beim Monitoring zu „false alarms“ und bei Shadowing-Aufgaben zu Verdrehern oder Auslassungen (Bartmann, 1995).

Kombinierte Maße von Primär- und Sekundäraufgabe

Neben den isolierten Maßen der Primär- bzw. Sekundäraufgabe kann auch die Beziehung zwischen Primär- und Sekundäraufgabe untersucht werden. Dabei gibt es zwei Kombinationsmöglichkeiten zwischen Primär- und Sekundäraufgabe (Bartmann, 1995): Zum einen wird die Nebentätigkeit konstant gehalten, es erfolgt keine Beanspruchungsvariation innerhalb dieser Aufgabe, die Beanspruchung durch die Hauptaufgabe wird jedoch variiert. Zum anderen wird die Nebentätigkeit variiert und die Haupttätigkeit bleibt gleich.

3.3.2 Subjektive Maße der Beanspruchung

Ein sowohl billiges als auch einfach zu erhebendes Messinstrument ist die Selbstausskunft der Versuchsperson, sei sie anhand eines Interviews oder anhand eines Fragebogens. Hierbei geht man von der Annahme aus, dass keine andere Messung bzw. keine externe Beobachtung ein exakteres Bild der erlebten Beanspruchung geben kann als der oder die Beteiligte selbst.

Im Falle der subjektiven Messungen kann zwischen Selbsteinschätzungen und Expertenratings unterschieden werden. Die wohl gebräuchlichsten Instrumente der ersten Kategorie sind der NASA-TLX (NASA Task Load Index) und der SWAT (Subjective Workload Assessment Technique). Hierbei handelt es sich um multi-dimensionale Skalen, auf denen Ratings hinsichtlich unterschiedlicher Dimensionen abgegeben werden müssen. Daneben wird nachfolgend als Beispiel für eindimensionale Konstrukte die

Cooper-Harper Scale und der KAB (Kurzfragebogen zur aktuellen Beanspruchung) näher vorgestellt.

- Beim NASA-TLX (Hitt et al., 1999) handelt es sich um eine multidimensionale Skala - es müssen Ratings auf unterschiedlichen Subskalen abgegeben werden, die schließlich zu einem Gesamtwert integriert werden können. Der Gesamtscore des NASA-TLX basiert auf gewichteten Ratings bzgl. folgender Subskalen: Geistige Anforderung, körperliche Anforderung, zeitliche Anforderung, Aufgabenerfüllung, Anstrengung und Frustration. Drei der Dimensionen beziehen sich ausschließlich auf die gestellten Anforderungen an die Versuchsperson (geistige, körperliche, zeitliche Anforderung), während die übrigen die Interaktion mit der Aufgabe erfassen. In der vorliegenden Untersuchung wird eine abgewandelte Form des NASA-TLX verwendet, die vom Fraunhofer-Institut im Rahmen einer Felduntersuchung zur automatischen Abstandsregelung (ACC) entwickelt wurde. Diese Form unterscheidet bei jeder Dimension zwischen Fahr- und Nebenaufgabe und versucht damit, zwischen den unterschiedlichen Anforderungen zu unterscheiden.
- Auch der SWAT (Subjective Workload Assessment Technique) (Luximon & Goonetilleke, 2001) misst Workload auf mehreren Skalen - „time load“, „mental effort load“ und „stress load“ - und fasst diese mittels der „conjoint measurement technique“ (Nygren, 1982) zu einem Beanspruchungsindex zusammen. Der SWAT wurde in erster Linie zur Beanspruchungsmessung von Operateuren unterschiedlicher technischer Systeme verwendet, wobei die Evaluation von Flugzeug-Cockpits vorrangig zu nennen ist. Entwickelt wurde der SWAT ursprünglich vom AAMRL (Air Force Armstrong Aerospace Medical Research Laboratory) im Rahmen der Entwicklung einer Testbatterie zur Bestimmung der Workload von Air Force Piloten. Die Aufgabenstellung war dabei, ein Messinstrument zu entwickeln, das die Workload auch unter hohen Beanspruchungsgraden präzise misst und unkompliziert einsetzbar ist.
- Der Kurzfragebogen zur aktuellen Beanspruchung (KAB) (Müller & Basler, 1993) definiert die Beanspruchung als Teilaspekt des momentanen Befindens und sieht sie im Gegensatz zu den oben genannten Erhebungsmethoden als eindimensionales Konstrukt. Er besteht aus sechs bipolar angeordneten positiven und negativen Adjektiven, die eine sechsstufige Rangskala begrenzen.

Eingesetzt wurde das Instrument bislang in mehreren Laborstudien sowie bei Feldstudien zur Blutspende und zu Krankenhausaufenthalten. Er zeichnet sich den Autoren zufolge durch geringe Bearbeitungsdauer, hohe Sensitivität gegenüber kurzzeitigen Veränderungen und gute sprachliche Verständlichkeit aus.

- Die Cooper-Harper Scale (Cooper & Harper, 1969; nach Meshkati, Hancock, Rahimi & Dawes, 1995) wurde ursprünglich eingesetzt, um anhand der Aussagen und Bewertungen von Testpiloten die Handling- sowie die Flugeigenschaften von Militärflugzeugen zu erfassen. Daher wurde sie in erster Linie dazu verwandt, um die Beanspruchung durch manuelle Kontrolltätigkeiten zu bewerten. Um jedoch als Messinstrument für Workload dienen zu können, musste die Annahme gemacht werden, dass eine direkte Beziehung zwischen den Handlingeigenschaften eines Militärjets und der mentalen Beanspruchung besteht (Williges & Wierwille, 1979). Auch deswegen wurde die Cooper-Harper Scale modifiziert und ihr Anwendungsbereich auf Systeme ausgeweitet, die dem Benutzer perzeptive, kommunikative oder vermittelnde Anforderungen abverlangen.

Eine Anwendung der subjektiven Messmethoden im Bereich der Verkehrspsychologie stammt von Matthews, Legg und Charlton (2002). Sie untersuchten die Auswirkungen von drei Telefontypen (Hand-held, Freisprecheinrichtung, Kopfhörer) auf die subjektive Beanspruchung und den Verständlichkeitsgrad des Gesprächs im realen Verkehr mit 13 Probanden. Dabei verwendeten sie den NASA-TLX, der es ihnen ermöglichte, zwischen kognitiver, körperlicher und zeitlicher Beanspruchung zu unterscheiden sowie Aufwand und Frust bei der Aufgabenbearbeitung zu erheben. Um den Verständlichkeitsgrad des Telefongesprächs zu bewerten, wurde der „modified rhyme test“ (MRT) verwendet. Es zeigte sich, dass die Gesamtbeanspruchung in signifikanter Weise vom Telefontyp abhängig war: So erhielt das Telefonieren mit Kopfhörer den geringsten Beanspruchungswert, gefolgt vom Telefonieren ohne Freisprecheinrichtung und dem Telefonieren mit Freisprechanlage. Darüberhinaus konnte beobachtet werden, dass Telefone, die zu einem schlechten Verständlichkeitsgrad des Gesprächs beitragen, zu einer Steigerung der kognitiven Beanspruchung führen.

Kritiker der subjektiven Messmethoden (bspw. Brookhuis & de Waard, 2001) führen an, dass physiologische und mentale Beanspruchung schwer zu unterscheiden und mehrdimensionale Konstrukte von der Versuchsperson durch Introspektion schwer nachzuvollziehen sind (siehe auch de Waard, 1996). Ausserdem können unterschiedli-

che Faktoren verzerrend auf das Ergebnis wirken: Zu den personenbezogenen Faktoren, die vorwiegend aus Merkmalen der Versuchspersonen resultieren, gehört beispielsweise die Tendenz zur Mitte (Vermeidung von extremen Urteilen). Zu den aufgabenbezogenen Faktoren, die unter anderem durch den Aufgabenverlauf verursacht werden, zählt der Positionseffekt (Überbewertung der Beanspruchung bei Belastungsspitzen am Anfang und am Ende einer Aufgabe). Zu den methodenbezogenen Faktoren, die primär aus der Versuchsmethode resultieren, rechnet man zum Beispiel das Skalentraining, durch das die Versuchspersonen mit den Beanspruchungsmessmethoden vertraut werden.

3.3.3 Physiologische Maße der Beanspruchung

Die letzte hier vorgestellte Methode, Workload zu messen, ist die Erfassung physiologischer Parameter in der Beanspruchungssituation. Menschen, die sich in einer beanspruchenden Situation befinden, durchlaufen eine Reihe physiologischer Veränderungen, die durch Messungen quantifizierbar sind. Ursin & Ursin (1979) stellten jedoch fest, dass diese physiologischen Parameter nicht in direkter Weise die Workload wiedergeben, sondern vielmehr die Art und Weise, wie das Individuum mit dieser Beanspruchung umgeht bzw. auf diese reagiert.

Nach Johannsen (1993) sind Datenverdichtung und -auswertung bei der Verwendung physiologischer Maße von erheblicher Bedeutung. Zudem sollten gleichzeitig mehrere Messgrößen zur Entwicklung eines Beanspruchungsindikators herangezogen werden (multivariate Analysen).

In unterschiedlichen Untersuchungen wurde eine Reihe physiologischer Parameter eingesetzt (Klimmer & Rutenfranz, 1983):

- Herzschlagfrequenz
- Herzschlagarrhythmie
- Atemfrequenz
- Flimmerverschmelzungsfrequenz
- Hautwiderstand
- Hauttemperatur
- Blutdruck
- Augenbewegungen
- Lidschlagfrequenz

– EEG, evozierte Potentiale

Diese Indikatoren müssen bestimmten Anforderungen gerecht werden, um in realen Belastungssituationen angewendet werden zu können. So sollen tätigkeitsspezifische Indikatoren ausgeschlossen sein, um Interferenzen mit der Aufgabe zu vermeiden. Der Indikator soll zudem auf Veränderungen der Tätigkeit oder Beanspruchung möglichst empfindlich reagieren. Um eine realistische Ermittlung der Beanspruchung zu erreichen, darf die Messung den Probanden bei der Ausübung der Tätigkeit nicht behindern. Darüberhinaus muss eine Messung parallel zur Tätigkeit ohne Unterbrechung des Arbeitsablauf möglich sein. Diese Anforderungen werden am besten von den Indikatoren erfüllt, die auf der Messung des Herzschlags basieren.

Etwa seit der Jahrhundertwende wird die Herzschlagfrequenz als Beanspruchungsindikator auch bei mentaler Belastung benutzt. Die Erhöhung der Herzschlagfrequenz lässt auf eine erhöhte Beanspruchung schließen. Allerdings zeigt die Herzschlagfrequenz nur bei sehr hohen mentalen oder emotionalen Beanspruchungen eine Abweichung von normalen Werten (Klimmer & Rutenfranz, 1983).

Eine Anwendung physiologischer Maße in der verkehrspsychologischen Forschung stammt von Takada und Shimoyama (2001). Sie untersuchten den Einfluss der Fahrerassistenzsysteme ACC (Adaptive Cruise Control) und CWS (Collision-Warning System) auf die mentale Beanspruchung des Fahrers. In einer Simulatoruntersuchung wurde unter anderem das EKG erhoben und festgestellt, dass das Vorhandensein eines der beiden Assistenzsysteme die mentale Beanspruchung des Fahrers reduziert. Allerdings muss die Übertragbarkeit der Ergebnisse aufgrund der geringen Stichprobengröße von 6 Probanden in Frage gestellt werden.

Haigney et al. (2000) erhoben in ihrer bereits erwähnten Fahrsimulationsuntersuchung neben dem Einfluss des Telefonierens auf die Fahrleistung auch physiologische Maße. Das Telefongespräch beinhaltete die folgende kognitive Aufgabe: es wurden 5 Buchstaben angezeigt, gefolgt von einer Aussage über die Position zweier darin vorkommender Buchstaben. Die 30 Probanden sollten die Aussage als „richtig“ oder „falsch“ klassifizieren. Die beobachtete Erhöhung des Herzschlags deutet auf eine Steigerung der kognitiven Beanspruchung für den Zeitraum „während des Telefongesprächs“ hin. Die Tatsache, dass die Änderungen des Herzschlags unabhängig vom Telefontyp (Hand-held vs. Freisprecheinrichtung) waren, belegt, dass diese Erhöhung nicht auf die körperliche Beanspruchung aufgrund des Haltens des Telefonhörers zurückgeführt werden kann.

3.3.4 Blickregistrierung

Die Blickregistrierung wird in der verkehrspsychologischen Forschung sowohl zur Messung der visuellen, als auch zur Messung der kognitiven Beanspruchung eingesetzt. Aussagen über die visuelle Ablenkung durch Nebenaufgaben im Fahrzeug werden bspw. aus der Dauer einzelner Blicke als auch aus der Gesamtdauer aller zur Aufgabenerfüllung benötigten Blickzuwendungen („Total Glance Time“) abgeleitet. Um die kognitive Ablenkung zu erfassen, wird eher die Blickrichtung während der Bedienung eines Systems untersucht. Es wird angenommen, dass aufgrund von kognitiver Ablenkung ein „Wahrnehmungstunnel“ auftreten kann, d.h. die Blicke des Fahrers konzentrieren sich vorwiegend frontal vor dem Fahrzeug, periphere Reize werden größtenteils vernachlässigt. Ein derartiger Effekt wurde bspw. bei der Verwendung von Head-up-Displays (HUD) zur Informationsdarstellung im Fahrzeug nachgewiesen: Da ein HUD die Aufmerksamkeit des Fahrers auf sich zieht, kann dies auch dazu führen, dass der Aufmerksamkeitsfokus eingeengt und somit die periphere Wahrnehmung eingeschränkt wird - man spricht auch hier vom „Perceptual Tunneling“. Die normalen Blickbewegungsmuster des Fahrers können durch ein HUD-Bild beeinflusst und somit das nutzbare Blickfeld eingeengt werden (Bossi et al., 1997).

Ein weiteres verbreitetes Verfahren zur Bestimmung der visuellen Beanspruchung ist die Okklusionstechnik (Krems et al., 2000) – die Idee besteht dabei darin, durch Wechsel zwischen Intervallen mit offenem und verdecktem Sichtfeld die Gegebenheiten bei der Fahraufgabe bzw. bei der Bedienung eines MMI-Systems zu simulieren. Dieses Messverfahren bietet dabei die Möglichkeit, Displays hinsichtlich Erkennbarkeit, Unterscheidbarkeit und Interpretierbarkeit zu bewerten sowie die Unterbrechbarkeit von Nebenaufgaben zu untersuchen. Die Okklusionsmethode beruht auf der Messung von Zeiteinheiten, die dem Probanden zur visuellen Erfassung von Informationen zur Verfügung gestellt werden. Es wird entweder die Zeit gemessen, die für die Betrachtung der Informationsdarstellungen benötigt wird oder aber es wird die Genauigkeit der Ableseung in Abhängigkeit von der Darbietungsdauer erhoben.

3.3.5 Qualitätsmerkmale für Instrumente der Workloadmessung

Wie die vorangegangenen Kapitel zeigen, existiert eine große Spannweite an verwendbaren Methoden zur Messung der Beanspruchung. Bei der Entscheidung für ein metho-

disches Vorgehen und der Auswahl von Messinstrumenten sollten jedoch folgende Kriterien in Betracht gezogen werden (Dahmen-Zimmer et al., 1999):

- (1) *Validität*. Die verwendeten Maße sollten hinsichtlich Inhalt, Voraussage und zugrundeliegenden Konstrukten valide sein.
- (2) *Reliabilität*. Die Maße sollten stabile und wiederholbare Ergebnisse bei wiederholten Anwendungen erbringen.
- (3) *Sensitivität*. Die Techniken sollten hinsichtlich situationaler Veränderungen sensitiv sein, d.h. entscheidende Veränderungen der Belastung zum Beispiel durch Zusatzaufgaben von Situationen diskriminieren, wo diese Zusatzbelastungen nicht vorliegen.
- (4) *Diagnostizität*. Die verwendeten Verfahren sollten in der Lage sein, die differentielle Beanspruchung unterschiedlicher Ressourcen oder Fähigkeiten des Fahrers zu erfassen, speziell solche, die zum Beispiel mit Alter und Erfahrung kovariieren.
- (5) *Störungsfreiheit*. Die Techniken der kognitiven Beanspruchungsmessungen dürfen nicht mit den Leistungsvariablen interferieren oder sogar ursächlich für deren Verschlechterung sein.
- (6) *Focus*. Die Techniken sollen ausschließlich auf die kritischen Variationen abheben und nicht von unspezifischen Belastungen oder gar Artefakten abhängen.
- (7) *Verwendbarkeit im Feld*. Die gewählten Techniken sollten so robust und einfach anzuwenden sein, dass sie entweder möglichst einfach während der Fahrtätigkeit erhoben werden können oder mühelos wieder aus der Erinnerung abgerufen werden können. Darüber hinaus muss geprüft werden, inwieweit die verwendeten Methoden ein spezifisches Training von Versuchsleitern und Versuchspersonen erfordern bzw. welcher apparative Aufwand in Datenerhebung und -analyse notwendig wird.
- (8) *Akzeptanz durch den Fahrer*. Der Erfolg der mentalen Beanspruchungsmessung hängt sehr stark davon ab, dass der Fahrer diese Vorgehensweise akzeptiert und kooperiert. Aus diesem Grunde ist es notwendig, dass die Versuchspersonen so ausgewählt werden, dass sie eine möglichst große Spannbreite der späteren Endnutzer wiedergeben.

3.4 Die Nachfolgaufgabe als experimentelles Setting zur Beanspruchungsmessung

Verminderte Aufmerksamkeit oder eine eingeschränkte Wahrnehmung kann im Straßenverkehr unter bestimmten Voraussetzungen dazu führen, dass Verhaltensänderungen anderer Verkehrsteilnehmer später wahrgenommen oder sogar übersehen werden. Bei der heute vorherrschenden Verkehrsdichte jedoch ist es von entscheidender Bedeutung, dass der Fahrer sein Fahrverhalten möglichst schnell an die Vorgaben seiner Verkehrsumgebung anpasst. Wenn beispielsweise das vorausfahrende Fahrzeug seine Geschwindigkeit verringert, muss der nachfolgende Fahrer umgehend seine Geschwindigkeitswahl adaptieren.

Lamble, Kauranen und Laakso (1999) untersuchten Veränderungen der Fahrleistung im realen Verkehrsgeschehen aufgrund telefonbezogener Aufgaben (Kontrollbedingung ohne zusätzliche Belastung, visuelle Belastung durch die Eingabe einer Telefonnummer, kognitive Belastung durch Gedächtnis- und Additionsaufgaben). Die Analyse des Fahrverhaltens der 19 Probanden belegt, dass das gleichzeitige Ausführen einer Nebenaufgabe die Time-to-Collision, also die Zeit bis zu einer möglichen Kollision mit dem Vorausfahrenden, verringert. Darüberhinaus führte die Nebentätigkeit auch zu einer Verschlechterung der Reaktionszeit auf Bremsvorgänge des vorausfahrenden Fahrzeugs. Die Ergebnisse stehen im Einklang mit anderen Studie (bspw. Alm & Nilsson, 1995) und deuten darauf hin, dass zusätzliche Belastung zu erhöhter Gefährdung bei der Nachfolgefahrt führt.

Shinar, McDonald und Treat (1978) stellten heraus, dass Aufmerksamkeit und Wahrnehmung bei den Ursachen von Unfällen einen ungleich wichtigeren Faktor darstellen im Vergleich zu Reaktionsfehlern. Brookhuis und de Waard (1994) fordern in ihrem Artikel, dass in verkehrspsychologischen Experimenten Untersuchungssituationen so ausgewählt werden sollten, dass sie repräsentativ für das Unfallgeschehen sind. Dies ist deshalb angezeigt, weil die Situationen dazu beitragen sollen, die Unfallgefährdung unter bestimmten variierbaren Bedingungen (Alkohol- bzw. Drogeneinfluss, Müdigkeit, Ablenkungswirkung etc.) vorherzusagen. Somit mag die Aufgabe, auf einem abgesperrten Testgelände einen Slalom-Kurs zu absolvieren, zwar gut kontrollierbar und sensitiv für experimentelle Variationen sein, jedoch mangelt es ihr an ökologischer Validität.

Ein valider Test muss beinhalten, dass er mögliche Veränderungen der Aufmerksamkeit in Hinblick auf das Verhalten anderer Verkehrsteilnehmer erfasst.

Ausgehend von diesen Überlegungen schlagen Brookhuis et al. (1994) eine experimentelle Vorgehensweise zum Nachweis des Einflusses externer Faktoren wie Drogen, Alkohol oder Mobiltelefonieren auf die Fahrleistung vor, welche die Qualität der Nachfolgefahrt und somit die dabei zur Verfügung stehenden bzw. verbleibenden Aufmerksamkeitsressourcen erfasst. Die Leistung bei der Nachfolgefahrt kann Brookhuis et al. zufolge anhand von drei Variablen gemessen werden, welche die Anpassung der Geschwindigkeitskurven von vorausfahrendem und nachfolgendem Fahrzeug beschreiben:

- (1) Coherence: Genauigkeit der Anpassung der Geschwindigkeitskurven durch Berechnung der Kreuzkorrelation; reicht von 0 (kein Zusammenhang zwischen den Signalen) bis 1 (perfekte Übereinstimmung).
- (2) Phasenverschiebung: zeitliches Verzögerungsmaß, das angibt, wie lange der nachfolgende Fahrer benötigt, um auf Geschwindigkeitsveränderungen des Vorausfahrenden zu reagieren.
- (3) Modulus: beschreibt, wie stark der nachfolgende Fahrer auf Geschwindigkeitsveränderungen des Vorausfahrenden über- bzw. unterreagiert.

3.5 Zur Unterscheidung von Ablenkung und Abwendung

Während frühe Ansätze der Aufmerksamkeitsforschung implizit davon ausgegangen sind, dass der Mensch prinzipiell in der Lage ist, alle Information im Wahrnehmungsfeld (visuell, akustisch, sowie taktil) zu registrieren und danach mittels Aufmerksamkeit zu selektieren, zeigen neuere Untersuchungen zur „Perceptual Blindness“, dass zum Beispiel ohne eine entsprechende Strategie der Aufmerksamkeitsverteilung viele Veränderungen im Wahrnehmungsfeld unterschwellig bleiben, also den Eindruck von Konstanz vermitteln, wo in Realität massive Veränderungen vorgehen. Für den speziellen Bereich des Straßenverkehrs und der damit verbundenen Anforderungen des Regulierens und Manövrierens kann diese Tatsache entscheidende Bedeutung erlangen, „weil dadurch mandatorische Informationen übersehen werden können.“ (Dahmen-Zimmer et al., 1999, S.1).

Abwendung

Prinzipiell können Aufmerksamkeitsstrategien intern und extern gesteuert werden: Bei der internen Steuerung verteilt der Wahrnehmende seine Aufmerksamkeit im perzeptuellen Feld zeitlich und räumlich nach einem starren oder auch variablen Schema. Hier taucht das Problem der Abwendung auf, das sich zum Beispiel in den sogenannten „Verkehrsblindzeiten“ beim Ablesen von Instrumenten etc. zeigt (Dahmen-Zimmer et al., 1999).

Experimentell kann eine Abwendungsbedingung dergestalt erzeugt werden, dass der Versuchsplan vorsieht, dass der Proband den Zeitpunkt der Bearbeitung frei wählen kann. Die Fahrer werden vor der Fahrt instruiert, dass sie jederzeit die Aufgabenbearbeitung unterbrechen können, wenn dies die Verkehrssituation erfordert.

Ablenkung

Extern kann die Aufmerksamkeit durch Reize gesteuert werden, die eine sogenannte Pop-up-Charakteristik haben, das heisst eine Singularität hinsichtlich Energie, Form oder Farbe im Wahrnehmungsfeld darstellen (Dahmen-Zimmer et al., 1999) – in diesen Fällen kann von einer Ablenkungswirkung ausgegangen werden. Je nach der räumlichen Position im Wahrnehmungsfeld führen unterschiedliche Reizmuster zum Pop-up-Phänomen; zum Beispiel löst ein punktförmiger starker Farbreiz im fovealen Visus eine Reaktion aus, während er im peripheren Visus keine Wirkung zeigt. Dort wirken praktisch nur Bewegungsreize deutlich überschwelliger Geschwindigkeit mit zeitlicher Rechteckcharakteristik. Im akustischen Feld gibt es ähnliche, allerdings nicht so genau der Lokalisation zuzuordnende Charakteristika - hier spielen Lernprozesse eine besondere Rolle. Man denke beispielsweise an die spezifischen Telefonsignale (Dahmen-Zimmer et al., 1999).

Wiederum kann experimentell eine Ablenkungsbedingung geschaffen werden, indem dem Fahrer der Zeitpunkt der Aufgabenbearbeitung vorgegeben wird. Beispielsweise wird der Fahrer gezielt während der Fahrt durch einen Anruf gestört und muss die ihm gestellte Aufgabe sofort bearbeiten, da diese sonst verschwindet. Dies wird dadurch forciert, dass der Versuchsperson vorab mitgeteilt wird, dass der Anrufer bei eingehenden Anrufen nur drei Mal klingeln lässt. Danach ist der Anruf verloren. Der Fahrer muss den Anruf also innerhalb einer bestimmten Zeit entgegennehmen.

Bei der vorgestellten Unterscheidung zwischen Ablenkung und Abwendung spielt also der Grad der Kontrollierbarkeit des Bedienvorganges für den Fahrer eine entscheidende Rolle. Im Straßenverkehr zeigt es sich jedoch immer wieder, dass konkurrierende Informationen vor allem in zeitkritischen Situationen die menschlichen Kapazitätsgrenzen zur Auswahl, Aufnahme und Verarbeitung von Information überschreiten. Dies hat dazu geführt, dass das „European statement of principles on human machine interface“ die einfache Unterbrechbarkeit sowie die Kontrollierbarkeit von Bedienvorgängen und Dialogen im Fahrzeug fordert: Der Fahrer soll einen Bedienvorgang jederzeit unterbrechen und problemlos wieder aufnehmen können. Zudem darf er nicht zu Eingaben gezwungen werden, wenn dies die aktuelle Verkehrssituation nicht zulässt. Somit ist die Kontrollierbarkeit des Bedienvorganges und damit die Frage nach Ablenkung oder Abwendung ein entscheidendes Kriterium für die Verkehrssicherheit

3.6 Zusammenfassung

Im Kapitel 3 wird zunächst ein Überblick über die für die vorliegende Fragestellung relevanten Modellvorstellungen und Theorien der menschlichen Aufmerksamkeit gegeben. Diese sind insofern für die Thematik von Bedeutung als dass zur Messung der Beanspruchung bei der Bedienung technischer Systeme seit jeher unterschiedliche Paradigmen zur Anwendung kommen, die allesamt als Ausgangspunkt den Ansatz aufweisen, dass der Mensch nur über eine begrenzte Aufmerksamkeitskapazität verfügt. Dabei gehen einige Forscher wie beispielsweise Kahnemann (1973) von einem Modell der Aufmerksamkeit als einer eingeschränkten Ressource aus, während andere multiple Ressourcen postulieren (Wickens, 1992). Wickens' Auffassung zufolge wird die simultane Verarbeitung mehrerer Informationen dann erleichtert, wenn die Aufgaben so strukturiert sind, dass die Information gleichmäßig zwischen den verschiedenen Eingabekanälen (visuell, akustisch, haptisch) verteilt wird.

Verkehrssicherheitsexperten gehen davon aus, dass die Sicherheit im Straßenverkehr erhöht werden kann, wenn es möglich ist, die auftretende Beanspruchung, sei sie durch Verkehr, Straßeneigenschaften oder Ablenkung innerhalb des Fahrzeugs bedingt, zu kontrollieren. Daher werden in einem ersten Schritt die Begriffe „Beanspruchung“ (engl. „Workload“), „Belastung“ und „Leistung“ genauer spezifiziert. Es zeigt sich, dass die Belastung sowie die Leistung objektiv messbar sind, dass es sich bei der Beanspruchung jedoch um eine subjektive Empfindung des Menschen handelt, die nur indi-

rekt gemessen werden kann und daher aus anderen Leistungsmaßen abgeleitet werden muss. In der Folge werden unterschiedliche Methoden der Workload-Messung beschrieben, die von physiologischen Maßen über Sekundäraufgaben-Paradigmen bis hin zur Befragung reichen. Brookhuis und de Waard (1994) fordern, dass in verkehrspsychologischen Experimenten Untersuchungssituationen so ausgewählt werden sollten, dass sie repräsentativ für das Unfallgeschehen sind. Aus diesem Grund wird auch das Nachfolge-Paradigma beschrieben, bei dem die Güte der Nachfolgefahrt hinter einem vorausfahrenden Fahrzeug bei gleichzeitiger Beanspruchung durch Nebenaufgaben erhoben wird.

Abschließend wird auf die für die vorliegende Arbeit zentrale Unterscheidung zwischen Ablenkung und Abwendung eingegangen. Prinzipiell kann die Aufmerksamkeit des Fahrers intern und extern gesteuert werden: Bei der internen Steuerung ist der Fahrer in der Lage, seine Aufmerksamkeit im perzeptuellen Feld zeitlich und räumlich willentlich zu verteilen und zuzuordnen – man kann in diesem Fall von Abwendung sprechen. Jedoch kann die Aufmerksamkeit auch extern durch Reize gesteuert werden, die eine sogenannte Pop-up-Charakteristik aufweisen, d.h. eine Singularität hinsichtlich Energie, Form oder Farbe im Wahrnehmungsfeld darstellen - hier liegt Ablenkung vor (Zimmer, 2000). Diese Unterscheidung ist von großer Wichtigkeit für die Kontrollierbarkeit des Bedienvorgangs während der Fahrt und somit ein entscheidender Faktor für die Verkehrssicherheit.

Kapitel 4

4 Theoretische Konzeption zur Messung der Ablenkungswirkung während zeitkritischer Fahrsituationen

Nachdem in den vorangegangenen Kapiteln die Anforderungen während zeitkritischer Fahrsituationen näher beleuchtet und Methoden zur Ablenkungs- bzw. Beanspruchungsmessung vorgestellt wurden, soll an dieser Stelle nun dargestellt werden, mit welchem theoretischen Konstrukt die Ablenkung während zeitkritischer Situationen erfasst werden soll und welche methodische Vorgehensweise sich aus dieser Konzeption ergibt.

4.1 Fahrerbelastung während zeitkritischer Fahrsituationen

Jede Entscheidung sowie Durchführung eines zeitkritischen Fahrmanövers kann beim Fahrer eine zusätzliche mentale Belastung hervorrufen, die anhand physiologischer Parameter wie der Pulsfrequenz oder der Änderung des Hautwiderstands gemessen werden kann.

Dabei ist zu beobachten, dass einzelne Abschnitte des Manövers mit besonderen „Stresspeaks“ verbunden sein können. Dies ist vor allem dann der Fall, wenn eine Entscheidung sehr kurzfristig und ohne ausreichende Zeit zur Situationsbewertung gefällt werden muss. Dies ist beispielsweise dann gegeben, wenn der Fahrer auf eine stark befahrene Autobahn einfädeln muss oder aber nach kurvenreichem Fahrtabschnitt plötzlich auf der Geraden die Möglichkeit zum Überholen eines vorausfahrenden LKW sieht. Er muss dann die Situation möglichst schnell auf die Spurwechselemöglichkeit hin prüfen, dabei aber das erforderliche Sicherungsverhalten (Blicke in die Spiegel bzw. über die Schulter) aufrechterhalten. Dies erfordert von ihm vor allem dann mentale Kapazitäten, wenn er sich im Vorfeld keinen Überblick über die Verkehrssituation verschafft hat, weil er beispielsweise durch ablenkende Tätigkeiten im Fahrzeug beansprucht war. Bei einer derartigen Überlastung stehen dem Fahrer allgemein folgende Möglichkeiten zur Kompensation zur Verfügung:

- Verringerung der Anforderungsdichte durch Geschwindigkeitsreduktion: Dies kann vor allem bei älteren Fahrern in schwierigen Situationen beobachtet werden.
- Ausgrenzung von Teilaufgaben und Prioritätenverschiebung: Der Fahrer beschränkt sich auf die unverzichtbaren Teilaufgaben der Fahrzeugführung (Längs- und Querstabilisierung) und vernachlässigt weniger wichtige (Navigation, Beachtung der Beschilderung, sonstige Tätigkeiten im Fahrzeug)
- Sonstige Maßnahmen: Routenwahl mit begrenzten Anforderungen, Anhalten und Pausieren, Verzicht oder Reduktion von Spurwechselvorgängen („notorische Links- oder Rechtsfahrer“)

Es wird oft davon ausgegangen, dass eine Erhöhung der Beanspruchung automatisch zu einer Verschlechterung der Leistung führt. Norman und Bobrow (1975) zeigen jedoch in ihrem Ansatz, dass dies nicht zwangsläufig der Fall sein muss, wenn der Fahrer seine Aufmerksamkeitskapazitäten mobilisiert. Sie unterscheiden zwischen „Data limited conditions“ und „Ressource limited conditions“: Sind die Aufmerksamkeitsressourcen durch eine Aufgabe ausgeschöpft, dann kann keine zusätzliche Kapazität mehr bereitgestellt werden und die Leistung wird nur noch durch die Aufgabenschwierigkeit bestimmt. In diesem Fall führen steigende Belastungen also zur Verminderung der Leistung. Wenn aber mentale Kapazität verfügbar ist, wird die Leistung weniger von der Höhe der Belastung abhängen, da kognitive Reserven für zusätzliche Anforderungen herangeführt werden können (Fastenmeier, 1995). Untersuchungen haben gezeigt, dass Fahrer versuchen, die Beanspruchung auf einem konstanten Niveau zu halten (z.B. Hoyos & Kastner, 1986).

Dieser Ansatz kann auch auf zeitkritische Fahrsituationen angewandt werden:

Datenlimitierte Operation unterhalb der Kapazitätsgrenzen

In diesem Fall operiert der Fahrer trotz der Anforderungen der zeitkritischen Situation noch unterhalb seiner Leistungsgrenzen und hat genügend Verarbeitungskapazität, um die ihm zur Verfügung stehenden Daten auszuwerten. Seine Leistung ist also primär durch Menge und Qualität der ihm zur Verfügung stehenden Informationen bestimmt, daher „datenlimitiert“.

Ressourcenlimitierte Operation an Kapazitätsgrenzen

Hier operiert der Fahrer vor bzw. während der zeitkritischen Situation an seinen Leistungsgrenzen und ist nicht mehr in der Lage, alle Informationen bei der Situationsbe-

wertung zu bearbeiten und auszuwerten. Er ist daher zu Kompensationsstrategien gezwungen, die letztlich eine reduzierte Berücksichtigung eigentlich verfügbarer Informationen zur Folge haben.

Dieser Zusammenhang wird in der folgenden Grafik veranschaulicht:

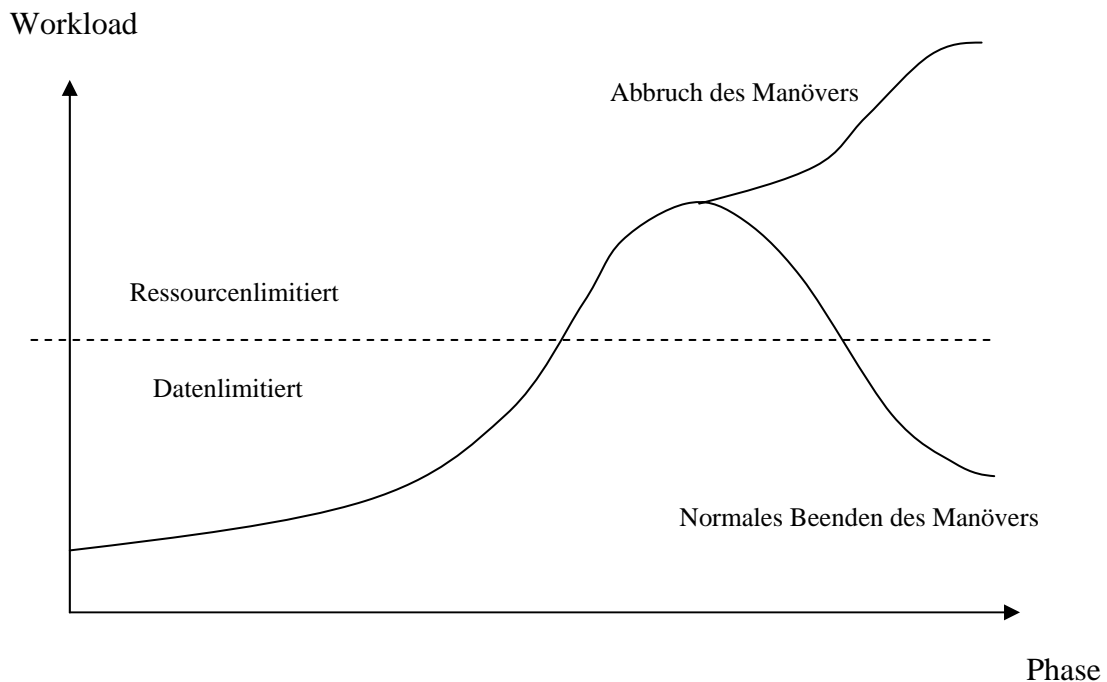


Abbildung 5: Fahrerverhalten in zeitkritischen Fahrsituationen in Abhängigkeit von der Workload

Wie in Abbildung 5 dargestellt, operiert der Fahrer im Vorfeld einer zeitkritischen Situation im Normalfall unterhalb seiner Kapazitätsgrenzen, er ist in der Lage, alle ihm zur Verfügung stehenden Informationsquellen (Spiegel, Geschwindigkeitsanzeige sowie Drehzahlmesser, Motorengeräusche etc.) zu nutzen und auszuschöpfen. Wenn sich nun aber beispielsweise nach einer Kurve sehr unvermittelt die Möglichkeit zum Überholen bietet, müssen gleichzeitig sehr viel mehr Informationen verarbeitet werden (vorausfahrendes Fahrzeug, entgegenkommender Verkehr, Straßenverlauf, aktuell zur Verfügung stehende Beschleunigung etc.). Der Fahrer erreicht seine Kapazitätsgrenzen, die ressourcenlimitierte Belastungsgrenze wird erreicht.

In diesem Fall können zusätzlich auftretende, ungünstige Umgebungsbedingungen dazu führen, dass der Fahrer sein gewohntes Sicherungsverhalten nicht beibehält und er mit einem Informationsdefizit bzw. unter Unsicherheit das Manöver beginnt. Diese Gegebenheiten begünstigen darüberhinaus das Auftreten von Fehlern bei der Situationsbewertung und bei der Durchführung des Manövers (vgl. Reason's Kontrollversäumnis,

Kapitel 2.4.2). Plötzlich auftretende Hindernisse können zu einem Abbruch des Überholmanövers führen, was nicht selten zu einer Gefährdung umgebender Verkehrsteilnehmer führt. Bei günstigen Umgebungsbedingungen kann der Fahrer sein Manöver wie geplant vollenden, keine Gefährdung tritt auf.

4.2 Beanspruchung und Informationsverarbeitung von Piloten

Ein vergleichbarer Zusammenhang ist in der Flugpsychologie bei der Beanspruchungsmessung von Piloten während einzelner Flugphasen zu beobachten. In der folgenden Grafik wird dargestellt, wie sich die Pilotenbelastung in Abhängigkeit von der Flugphase und der Ermüdungskurve verändern kann:

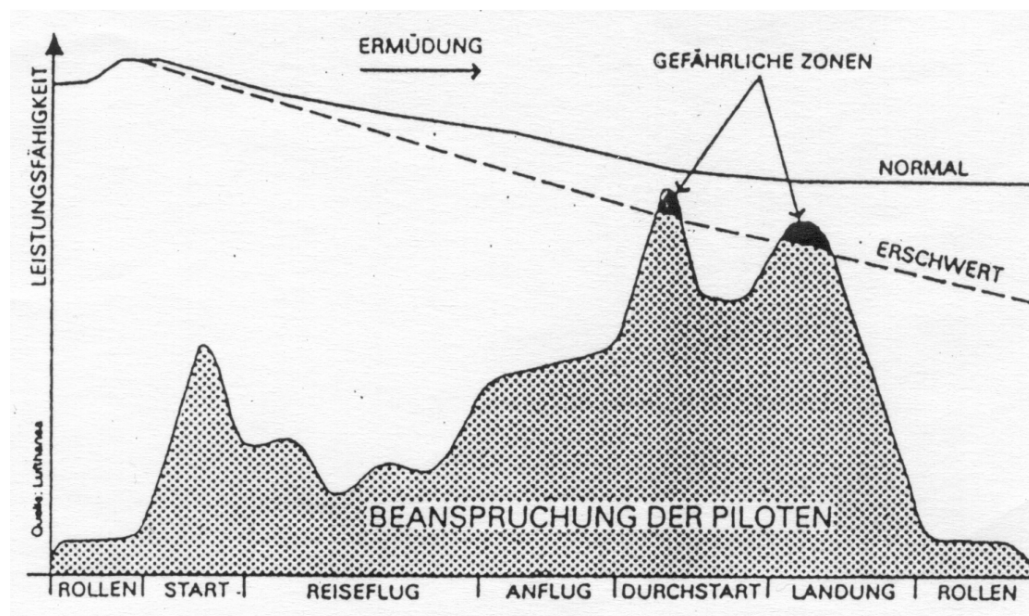


Abbildung 6: Beanspruchung von Piloten während einzelner Flugphasen (Quelle: Lufthansa)

Auch hier kann von daten- sowie Ressourcenlimitierten Operationen ausgegangen werden. Unter normalen Bedingungen wird die Beanspruchungsgrenze nicht erreicht, auch während besonders belastender Flugphasen führt die erhöhte Workload nicht zu einer unzureichenden Situationsbewertung. Wenn jedoch beispielsweise durch schlechte Witterung oder aber durch technische Probleme im Cockpit (symbolisiert durch die unterbrochene Linie) erschwerte Umgebungsbedingungen herrschen, kann durch die erhöhte Beanspruchung während der Landung beispielsweise zu einer Nichtbeachtung wichtiger Informationen führen, die möglicherweise in letzter Konsequenz zu einer Gefährdung führt.

Ausgehend von der geplanten Einführung neuartiger Anflug- und Landeverfahren im Nahverkehrsbereich von Flughäfen untersuchte Heinze (1977), ob eine objektive Steigerung der Aufgabenschwierigkeit wie beispielsweise das Fliegen auf räumlich gekrümmten Anflugprofilen zu einer messbaren Zunahme der Beanspruchung von Piloten führt. Er konnte zeigen, dass die Präzision der Bahnhaltung bei gleichzeitig erhöhter Stellaktivität der Piloten mit zunehmender Anforderung durch die Flugaufgabe abnimmt. Die Messung der Blickbewegungen der Piloten ermöglichte Aussagen über die Strategien zur Verringerung der Informationslast bei zunehmender Anforderung. Durch die Messung des Blickbewegungsverhaltens wurde nachgewiesen, dass Piloten auf graduell ansteigende Anforderungen mit einer Strategie zur Reduktion der Informationslast reagieren, durch welche die Gewichtung der dargebotenen Informationen verändert wird. Diese interne Prioritätsverschiebung zwischen Informationsquellen führt bei zunehmender Beanspruchung zur „Vernachlässigung“ von nachrangigen Informationen bei gleichzeitiger Verringerung der Präzision der Bahnführung. Führt bei weiterer Beanspruchung die Strategie zur Verringerung der Informationslast durch Schwerpunktänderung nicht zur verminderten Belastung, so ist eine Reduktion der Wechselhäufigkeit zwischen den Anzeigen die Folge.

4.3 Zur Auswirkung induzierter Ablenkung während zeitkritischer Fahrsituationen

4.3.1 Veränderung des Sicherungsverhaltens

Ähnliche Ergebnisse sind nun auch bei der Führung eines Fahrzeugs zu erwarten, wenn die Beanspruchung über die unter 4.1 beschriebene Kapazitätsgrenze ansteigt. Dies kann aufgrund von Umgebungsvariablen (hohe Verkehrsdichte) aber auch aufgrund von Ablenkungswirkung im Fahrzeug erfolgen. Gemäß der oben beschriebenen Erkenntnisse ist in diesem Fall zu vermuten, dass der Fahrer mit einer Verringerung der Informationslast reagiert und den einzelnen Informationsquellen veränderte Prioritäten zuordnet. Darüberhinaus kann es zu einer Verringerung der Wechselhäufigkeit zwischen den einzelnen Informationsquellen kommen. Für den speziellen Fall der zeitkritischen Situationen ist in diesem Zusammenhang natürlich die Informationsaufnahme im Vorfeld des Manövers, also vor allem die Nutzung der Spiegel und des Schulterblicks, zu nennen.

4.3.2 Fehler bei der Situationsbewertung

Aus Forschungsarbeiten zur menschlichen Zuverlässigkeit ist zu entnehmen, dass bei komplexeren technischen Systemen in ungefähr 60 bis 80% aller Unfälle oder Nahezu-Unfälle menschliche Fehler als Hauptursache angenommen werden können (bspw. Nagel, 1988). Neben den bekanntesten Klassifikationen menschlicher Fehler, wie der eher arbeitsbezogenen von Hacker (1986) oder der eher kognitionsbezogenen von Reason (1990), stellt eine Einteilung von Rouse und Rouse (1983) eine Variante dar, die für die vorliegende Fragestellung am anwendbarsten erscheint. Anhand von sechs Kategorien, die unterschiedliches kognitives Anspruchsniveau aufweisen, wird eine relativ große Anzahl von Fehlertypen behandelt:

Allgemeine Kategorie: Fehler bei ...	Untergliederung: Fehler durch ...
1. Beobachtung des Systemzustandes	a) Unberichtigtes Nachprüfen b) Fehldeutung richtiger Ablesung c) Unrichtiges Ablesen d) Unvollständiges Beobachten e) Beobachtung ungeeigneter Größen f) Fehlende Beobachtung
2. Hypothese über Prozesszustand	a) Inkonsistenz mit Beobachtung b) Zutreffend, aber unwahrscheinlich c) Zutreffend, aber umständlich d) Schluss ohne Bezug zur Beobachtung
3. Test der Hypothese	a) Abbruch vor Schluss b) Falscher Schluss c) Verwerfen eines richtigen Schlusses d) Fehlender Hypothesentest
4. Wahl des Ziels	a) Wahl eines unzureichenden Ziels b) Wahl eines gegensätzlichen Ziels c) Überflüssiges Ziel d) Fehlende Zielwahl
5. Wahl einer Handlungsfolge	a) Unvollständige Prozedur b) Ungeeignete Prozedur

- | | |
|---------------------------------|--------------------------------------|
| | c) Überflüssige Prozedur |
| | d) Fehlende Prozedurwahl |
| 6. Ausführen der Handlungsfolge | a) Auslassen von Schritten |
| | b) Überflüssige Schrittwiederholung |
| | c) Überflüssiger Schritt |
| | d) Vertauschen von Schritten |
| | e) Ausführung zur falschen Zeit |
| | f) Falscher diskreter Eingriff |
| | g) Zulässiger Regelbereich verlassen |
| | h) Unvollständige Ausführung |
| | i) Nicht aufgabenbezogener Schritt |
-

Tabelle 3: Systembezogene Klassifikation menschlicher Fehler bei der Prozessführung (Rouse, 1983)

Diese sechs Kategorien lassen sich zumindest teilweise der in Kapitel 2.4.1 dargestellten, hierarchischen Unterteilung der Fahraufgabe (Michon, 1989) zuordnen. So weist die sechste Kategorie der Tabelle 3 das niedrigste kognitive Anspruchsniveau auf (vgl. autonome Verhaltensebene), wobei hier völlig unbewusste Fehlhandlungen wie beispielsweise das Verwechseln von Gas- und Bremspedal auftreten können (Johannsen, 1993). Dahingegen lassen sich Fehler der fünften Kategorie schon eher auf Gedächtnisfehler, wie sie von Reason (1990) angenommen werden, zurückführen. Die Fehler der Kategorien 1 bis 4 werden dagegen stärker von Denkfehlern, teilweise aber auch von Gedächtnisfehler gekennzeichnet, was eine Vorbeugung und Erfassung dieser Fehlerarten erschwert (vgl. wissensbasierte Verhaltensebene).

Nun sind aber für die zeitkritischen Fahrsituationen die Fehler der Kategorien 5 und 6 besonders interessant, da sie sich direkt auf die Handlungsfolge während des Manövers beziehen. Hier sind nicht Gedächtnis- bzw. Denkfehler von entscheidender Bedeutung, sondern vielmehr die Integration einzelner Handlungsschritte zu einer sinnvollen Prozedur bzw. Handlungssequenz. Die Sicherungsschritte vor und während des zeitkritischen Manövers stellen eine derartige Handlungsabfolge dar, die zu einer Gefährdung führen kann, sofern sie nicht vollständig oder in der korrekten Reihenfolge ausgeführt wird.

4.4 Zusammenfassung und Hypothesenbildung

Im vorliegenden Kapitel wurden im Zusammenhang mit der Beanspruchung von Piloten aber auch von Fahrern Konzepte der Informationsverarbeitung vorgestellt, die zwischen datenlimitierten und ressourcenlimitierten Operationen unterscheiden. Im Falle der datenlimitierten Operationen agiert der Fahrer trotz der Anforderungen durch die zeitkritische Situation noch unterhalb seiner Leistungsgrenzen und hat genügend Verarbeitungskapazität, um die ihm zur Verfügung stehenden Informationen auszuwerten. Seine Leistung ist also primär durch Menge und Qualität der ihm zur Verfügung stehenden Informationen bestimmt. Bei ressourcenlimitierten Vorgängen hingegen operiert der Fahrer vor bzw. während der zeitkritischen Situation an seinen Leistungsgrenzen und ist nicht mehr in der Lage, alle Informationen bei der Situationsbewertung zu bearbeiten und auszuwerten. Die ressourcenlimitierte Belastungsgrenze kann durch zusätzliche Belastung erreicht werden, die ihren Ausgangspunkt innerhalb oder ausserhalb des Fahrzeugs hat. So tragen einerseits beispielsweise hohe Verkehrsdichte oder eine unbekannte Umgebung als externe Faktoren, andererseits ablenkende Tätigkeiten und eingehende Informationen als interne Faktoren zum Anstieg der Beanspruchung bei.

In den vorangegangenen Abschnitten dieser Arbeit wurden mögliche Auswirkungen des Erreichens der Belastungsgrenze erläutert, die von erhöhter Risikobereitschaft über das vermehrte Auftreten spezieller Fehlertypen bis zur Nichtbeachtung wichtiger Hinweisreize reichen. Für die vorliegende Arbeit werden aufgrund der dargestellten Vorüberlegungen und Erkenntnisse im Falle der Auswirkungen auf das Sicherungsverhalten folgende Hypothesen aufgestellt:

- Hypothese 1:** Für Fahrten unter visueller Ablenkungswirkung sind im Vergleich zu einer Kontrollbedingung weniger Wechsel zwischen den zur Verfügung stehenden Informationsquellen zu verzeichnen.
- Hypothese 2:** Für Fahrten unter visueller Ablenkungswirkung ist im Vergleich zu einer Kontrollbedingung eine reduzierte Sicherheitsaktivität in Form der absoluten Anzahl an Sicherheitsblicken pro Ausschervorgang zu verzeichnen.
- Hypothese 3:** Für Fahrten unter visueller Ablenkungswirkung ist im Vergleich zu einer Kontrollbedingung eine reduzierte Sicherheitsaktivität in Form von zeitlich verkürzten Blickzuwendungen zu verzeichnen.

Um diese Hypothesen in geeigneter Weise untersuchen zu können, soll durch eine geeignete experimentelle Vorgehensweise ein möglichst realitätsnahes Sicherungsverhalten während der Simulatorfahrten hervorgerufen werden. Dieses Sicherungsverhalten wird dann einer exakten zeitlichen Analyse unterzogen und dient als Ausgangspunkt, um den Einfluss visueller Ablenkung erfassen zu können. Daher wird beim experimentellen Vorgehen der Analyse der Ablenkungswirkung eine eingehende Aufschlüsselung der Blickaktivität im Vorfeld einer zeitkritischen Situation vorangestellt. Dies gibt auch einen ersten Hinweis darauf, wie sehr sich einzelne Fahrer hinsichtlich dieser Blickaktivität voneinander unterscheiden und somit, welche interindividuelle Varianz dabei zu erwarten ist.

Kapitel 5

5 Experimentelle Untersuchungen

5.1 Untersuchungsabschnitt 1: Beschreibung des Fahrerverhaltens beim Spurwechsel

Der zunächst dargestellte erste Untersuchungsabschnitt greift die eingangs beschriebene Fragestellung nach dem typischen Fahrerverhalten während zeitkritischer Fahrsituationen auf. Dabei wird sowohl das Fahrverhalten als auch das Sicherungsverhalten der Probanden vor und während der zeitkritischen Situation „Spurwechsel“ experimentell untersucht. Die Versuchspersonen werden in der Fahrsimulation gezielt in Situationen gebracht, während derer sie zeitkritische Manöver beim Spurwechsel und Überholen durchlaufen. Die Hauptzielsetzung dieses Untersuchungsabschnitts ist es, ein prototypisches Fahrerverhaltensmodell während derartiger Fahrsituationen zu erhalten, das sowohl das Fahr- als auch das Sicherungsverhalten beschreibt. Dabei werden als Methoden die detaillierte Auswertung des Blickverhaltens und die Analyse der fahrdynamischen Daten angewandt.

5.1.1 Verwendete Methoden

5.1.1.1 Versuchsaufbau

Die Untersuchung wird im März des Jahres 2000 am Fahrsimulator der BMW AG München durchgeführt. Hierbei handelt es sich um einen statischen Fahrsimulator, der von einer Silicon Graphics Workstation (Onyx) gesteuert wird und eine computergenerierte Fahrszenerie verwendet. Diese Workstation berechnet die Fahrdynamik und die Grafikdaten für die Aussenansicht. Zudem steuert sie die Fahrzeuginstrumentierung, registriert die Fahrdaten und generiert die Fahrgeräusche von Eigen- und Fremdfahrzeugen. Das Lenkmoment am Simulatorfahrzeug wird von einem Elektromotor erzeugt, der mit der Lenksäule verbunden ist. In der nachfolgenden Grafik wird der modulare Aufbau des BMW-Fahrsimulators dargestellt:

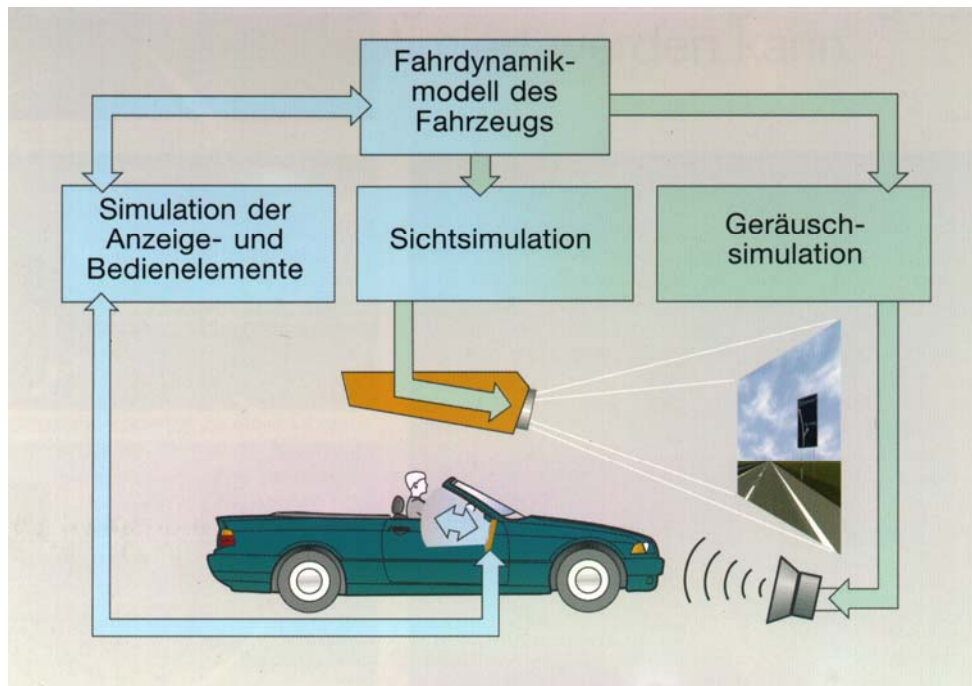


Abbildung 7: Modularer Aufbau des BMW-Fahrsimulators (BMW AG, 1993)

Das Simulatorfahrzeug (BMW 5er Mockup) befindet sich in einem abgedunkelten Raum, frontal vor dem Fahrzeug befindet sich eine ca. 12 mal 2,25 Meter große, gewölbte Leinwand. Die Projektion erlaubt eine 190°-Rundumsicht, die den Fahrer bei der Geschwindigkeitswahrnehmung unterstützt und die Darstellung von Überhol- bzw. Einfädelmanövern zulässt. Das Bild für die Aussenansicht wird von vier Großbildprojektoren erzeugt, die an der Decke über dem Fahrzeug installiert sind. Den Fahrern steht bei dieser Untersuchung zudem eine Schultersicht-Projektion (links) zur Verfügung, um bei Ausschervorgängen auch einen Schulterblick durchführen zu können. Mittels einer Rückansicht (rechter und linker Aussenspiegel bzw. Innenspiegel, dargeboten auf drei Plasmabildschirmen hinter dem Versuchsfahrzeug) können die Fahrer den rückwärtigen Verkehr beobachten. Sie werden vor den Fahrten darauf hingewiesen, dass sich ausser ihrem Fahrzeug weitere Fremdfahrzeuge auf ihrer Fahrspur befinden werden und sie somit auch den rückwärtigen Verkehr beobachten sollten.

Die beschriebene 7-Kanal-Projektion (drei Kanäle Frontsicht, drei Kanäle Rückansicht, ein Kanal Schultersicht) soll den Fahrern vor und während der Ausschervorgänge ihr gewohntes Blick- bzw. Sicherungsverhalten ermöglichen.

Der Versuchsleiter befindet sich nicht mit der Versuchsperson in einem Raum, sondern tritt mittels einer Gegensprechanlage mit der Versuchsperson in Verbindung und beobachtet die Fahrt mit Hilfe mehrerer Monitore. Zudem verfügt er über eine Ansicht des

Kombiinstrumentes, so dass er permanent die Geschwindigkeit der Versuchsperson überwachen kann. Um Konflikte während der Ausschervorgänge zu forcieren, kann der Versuchsleiter mittels eines Joysticks die Geschwindigkeit des Fremdfahrzeugs, das sich jeweils gerade auf der Spur links hinter der Versuchsperson befindet, beeinflussen. Beispielsweise kann er dieses etwas beschleunigen, sobald der Fahrer zum Spurwechsel ansetzt, um einen Konflikt herbeizuführen.



Abbildung 8: Fahrsimulator der BMW AG München (aus Schneider, 1997)

5.1.1.2 Beschreibung der Experimentalfahrten

Als Versuchsstrecke wird ein Kurs verwendet, der die Autobahnen im Norden Münchens (A99 - A9 - A92) realistisch abbildet. Dieser ist als Rundkurs konzipiert und gewährleistet somit eine relativ lange Fahrtdauer von in etwa 18 Minuten. Auf eine noch längere Fahrtdauer wird aufgrund der Belastung für die Probanden verzichtet, da sich gemäß der Erfahrungen aus früheren Experimenten Simulatorübelkeit einstellen könnte. Diese Problematik tritt dann auf, wenn die verschiedenen wahrgenommenen Sinneseindrücke in der Simulation nicht übereinstimmen - was der Proband bei der Durchführung der Simulation erlebt, deckt sich nicht mit den Wahrnehmungen des Gleichgewichtssinnes. Als Ergebnis können die Versuchspersonen unter Folgeerscheinungen wie beispielsweise Schwindel, Erbrechen, Kopfweh und Desorientierung leiden.

Als Startpunkt der Experimentalfahrt wird ein Parkplatz an der dreispurigen Autobahn A99 gewählt, nach etwa dreiminütiger Fahrt wechselt die Versuchsperson am Autobahnkreuz München-Nord auf die A9, die ebenfalls drei Spuren pro Fahrtrichtung aufweist. Nach weiteren 7 Minuten geht es auf die A92 in Richtung Stuttgart. Hier fährt die Versuchsperson in etwa 5 Minuten auf einem zweispurigen Teilabschnitt, bevor sie gebeten wird, an einer Ausfahrt die Autobahn zu verlassen.

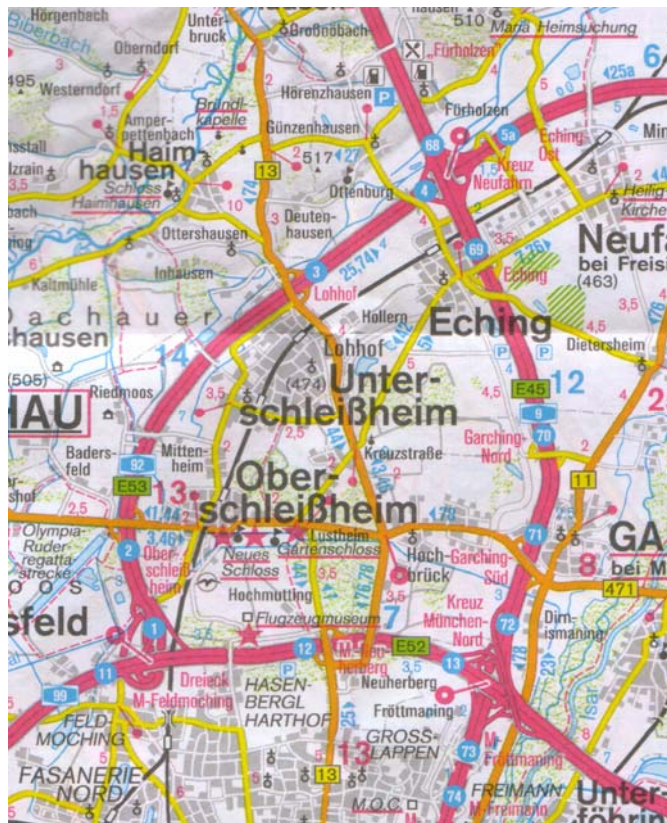


Abbildung 9: Streckenverlauf der Experimentalfahrt A99-A9-A92 (Untersuchungsabschnitt 1)

Auf der rechten Fahrspur befinden sich langsam fahrende Fahrzeug (ca. 75 km/h), welche die Versuchspersonen zu Ausschervorgängen veranlassen. Die Abstände zwischen diesen langsamen Fahrzeugen sind so bemessen, dass den Versuchspersonen ein Ein-scheren nach jedem Überholvorgang ermöglicht wird. Behindert werden sie dabei von schnelleren Fahrzeugen auf der mittleren Fahrspur (ca. 145 km/h). Auf der linken Fahrspur fahren schnelle Fahrzeuge (ca. 180 km/h). Jeweils das Fremdfahrzeug auf der Fahrspur links hinter dem Fahrzeug der Versuchsperson kann vom Versuchsleiter mittels des Joysticks beschleunigt bzw. abgebremst werden. Um die Fahrten noch realitäts-näher zu gestalten, befindet sich etwas Fremdverkehr auf der Gegenfahrbahn. Die nach-folgende Abbildung 10 gibt einen Eindruck vom Verkehrsgeschehen in der BMW-Fahrsimulation:



Abbildung 10: Fahrsimulatorszene - dreispurige Autobahn (aus Strobl, Löwenau & Bernasch, 2000)

Die Fremdfahrzeuge, die das Fahrzeug der Versuchsperson umgeben, sind mit einem Fahrerverhaltensmodell ausgestattet, das diese auf den umgebenden Verkehr und somit auch auf Fahrmanöver der Versuchsperson reagieren lässt. Sobald die Versuchsperson beispielsweise die Fahrspur wechselt und sich ihr ein derartiges Fremdfahrzeug von hinten nähert, verlangsamt dieses und wechselt auf die nächste freie Spur, um dort wiederum auf seine durch Programmierung festgelegte Wunschgeschwindigkeit zu beschleunigen. Dieses Verhaltensmodell trägt also dazu bei, die Bewegungen der Fremdfahrzeuge realitätsnäher zu gestalten und einen natürlicheren Verkehrsfluss zu erreichen.

Die vorliegende Fragestellung wird im Rahmen einer Untersuchung zur Abbiege- und Spurwechselassistentz (Praxenthaler, 2000; Neumannn, Weiser, Obojski & Anders, 2000) mit aufgegriffen. Die 12 Versuchspersonen absolvieren zwei für die hier vorliegende Untersuchung relevante Experimentalfahrten, eine davon stellt die Kontrollbedingung mit störungsfreier Fahrt dar, die andere Fahrt wird unter der Ablenkungsbedingung (s. Kap. 5.2) durchgeführt.

5.1.1.3 Aufgabenstellung

Da dieser Untersuchungsabschnitt wie bereits erwähnt im Rahmen des MoTiV-Projekts „Abbiege- und Spurwechselassistentz“ (Praxenthaler, 2000; Neumannn et al., 2000)

durchgeführt wird, wird den Versuchspersonen vorab nur die diesbezügliche Fragestellung erläutert (Vergleich unterschiedlicher Formen eines Spurwechselwarnsystems mit einer Kontrollbedingung). Sie werden also nicht darauf hingewiesen, dass ihr Sicherungsverhalten in besonderer Weise analysiert wird. Den Fahrern wird allerdings die Instruktion gegeben, sich gemäß der Straßenverkehrsordnung zu verhalten und somit auch die Spiegel in vorgeschriebener Form zu benutzen bzw. möglichst ihr gewohntes Sicherungsverhalten beizubehalten. Darüberhinaus sollen sie möglichst auf der rechten Fahrspur fahren bzw. wieder auf diese zurückwechseln, sofern dies möglich ist. Als Richtgeschwindigkeit wird ihnen ein Bereich von 130 bis 140 km/h vorgegeben, den sie jedoch bei Überholvorgängen verlassen können. Durch diese Instruktion soll gewährleistet werden, dass möglichst viele vergleichbare Spurwechsel- und Überholvorgänge erhoben werden können.

Da sich die auf der Strecke befindlichen Fremdfahrzeuge nie in völlig identischer Art und Weise verhalten und zudem stark von der Fahrweise der Versuchsperson beeinflusst werden, ist die Reproduzierbarkeit bzw. Kontrollierbarkeit der einzelnen Spurwechselvorgänge von vornherein eingeschränkt. Durch die hohe Anzahl an Manövern soll jedoch eine ausreichend große Datengrundlage zur statistischen Auswertung geschaffen werden.

5.1.1.4 Ablauf der Untersuchung

In der nachfolgenden Tabelle ist der Versuchsablauf für eine Versuchsperson exemplarisch dargestellt. Da die vorliegende Fragestellung, wie bereits oben erwähnt, im Rahmen einer anderen Versuchsreihe innerhalb MoTiV (Abbiege- und Spurwechselassistentz) (Praxenthaler, 2000; Neumann et al., 2000) mit untersucht wird, sind auch die dazu gehörenden Untersuchungsabschnitte aufgeführt. Nur die **fett gedruckten Abschnitte** sind für die hier untersuchte Fragestellung relevant. Um Reihenfolgeeffekte zu vermeiden, wird die Abfolge der Experimentalfahrten unter den Versuchspersonen variiert:

		Dauer ca.
Einführung	Begrüßung Einweisung am Fahrsimulator	5 min
Eingewöhnungsfahrt	München-Kurs (2-spurig)	10 min
Experimentalfahrt 1	Kontrollfahrt (ohne Spurwechselassistentz und Nebenaufgabe)	15 min
Experimentalfahrt 2	Fahrt mit Spurwechselassistentz	15 min
Fragebogen Spurwechselassistentz		5 min
Experimentalfahrt 3	Fahrt mit Spurwechselassistentz	15 min
Fragebogen Spurwechselassistentz		5 min
Experimentalfahrt 4	Fahrt unter Ablenkungsbedingung	15 min
Belastungsfragebogen		5 min
Abschließender Fragebogen	Akzeptanz, Vergleich der System-Varianten Verbesserungsvorschläge	12 min
		102 min

Tabelle 4: Versuchsablauf – Untersuchungsabschnitt 1

5.1.1.5 Datenaufzeichnung

Im Rahmen der hier beschriebenen Fahrsimulationsuntersuchung wird das Fahrerverhalten in zeitkritischen Fahrsituationen einer detaillierten Analyse unterworfen und auch der Einfluss von Nebenaufgaben auf das Fahrerverhalten untersucht (zur Untersuchung der Ablenkungswirkung während zeitkritischer Fahrsituationen in Untersuchungsabschnitt 2 siehe Kap.5.2). Um diese Fragestellungen beantworten zu können, wird im Rahmen der Versuchsplanung ein Versuchsdesign erstellt, das den Einsatz unterschiedlicher verkehrspsychologischer Messmethoden (Analyse von Handlungsabläufen, Blickanalyse, Auswertung der Fahrdynamik) umfasst.

– Untersuchung des Sicherungsverhaltens

Das Blickverhalten der Probanden während der Fahrt wird mittels einer Sony-Fahrerbeobachtungskamera (auf der Ablage rechts neben dem Kombiinstrument platziert) aufgezeichnet und die einzelnen Ausschervorgänge einer exakten Videoanalyse unterzogen. Anhand der Darstellung des genauen zeitlichen Ablaufs der Blickaktivität vor und nach dem Ausscheren soll eine detaillierte Analyse des Fahr- und Sicherungsverhaltens in zeitkritischen Fahrsituationen vorgenommen werden. Parameter wie die durchschnittliche Blickhäufigkeit oder Blickdauer sollen das Sicherungsverhalten näher beschreiben.

Während der Versuchsfahrten wird neben einer Reihe unterschiedlicher fahrdynamischer Parameter ein Timecode (LTC-Format) in den Fahrprotokollen aufgezeichnet, der eine Synchronisierung von Fahrdaten und Beobachtungsvideo ermöglicht.

Im Rahmen der sich anschließenden, relativ zeitaufwendigen Videoanalyse werden am Videorecorder manuell diejenigen Fahrsituationen angesteuert, in denen die Versuchsperson eine Spurwechselabsicht zeigt. In einem Zeitraum von 10 sec vor dem Ausscheren bis 8 sec nach dem Ausscheren (Kriterium für das Ausscheren ist das Berühren der Spurbegrenzung) werden alle relevanten Blicke des Fahrers erfasst und mittels eines Auswerteprogramms in die Fahrprotokolle integriert. Als relevant gelten dabei Sicherungsblicke in den Innenspiegel, die Aussenspiegel oder über die Schulter. Es resultiert eine neue Datenspalte in den Protokollen, in der die Intervalle der Blickzuwendungen kodiert sind.

Ziel ist es zunächst, Situationen zu bestimmen, die hinsichtlich ihrer Anforderungen an den Fahrer vergleichbar sind. Als Kriterien werden hierbei die gefahrene Geschwindigkeit zum Zeitpunkt des Ausschereins (flüssige Ausschervorgänge bei einer Eigengeschwindigkeit von mindestens 90 km/h) und die Ähnlichkeit des Manövers (Ausschervorgang auf die mittlere Fahrspur aufgrund eines langsameren Fahrzeugs auf der rechten Spur bzw. Ausschervorgang auf die linke Fahrspur aufgrund von Fremdfahrzeugen auf der mittleren Fahrspur) zugrundegelegt. Zudem sollen die Blicke eindeutig dem betreffenden Ausschervorgang zugeordnet werden können, also nicht aufgrund anderer Einflüsse wie beispielsweise dem überraschenden Fahrverhalten eigentlich irrelevanter Fremdfahrzeuge erfolgen.

– Auswertung der Fahrdynamik

Während der Experimentalfahrten wird mit einer Aufzeichnungsrate von 25 Hz eine Reihe unterschiedlicher fahrdynamischer Parameter aufgezeichnet, mittels derer das Fahrverhalten während des Ausscherens bzw. Überholens detailliert beschrieben werden kann. Dabei wird als Referenz nicht nur das Verhalten des Fahrzeugs vor dem Simulatorfahrzeug mitprotokolliert, sondern auch das relevante Fahrzeug auf der Nachbarfahrspur links hinter der Versuchsperson:

Allgemein	
	Experimentalzeit [sec] TimeCode [sec]
Versuchspersonenfahrzeug	
	Fahrzeugposition (X,Y,Z) Eigengeschwindigkeit [km/h] und -beschleunigung [m/sec^2] Querbesehleunigung [m/sec^2] Gas- und Bremspedalstellung [%] Lenkradwinkel [$^\circ$] Lenkradwinkelgeschwindigkeit [$^\circ/\text{sec}$] Abstand zum Fahrbahnrand rechts [m] Time-to-Linecrossing [sec]
Fremdfahrzeuge (Fahrzeug vorne + Fahrzeug links hinten)	
	Fremdgeschwindigkeit [km/h] Fremdbesehleunigung [m/sec^2] Abstand [m] und [sec] Time-to-Collision [sec] Abstand zum Fahrbahnrand rechts [m]
spurwechselrelevante Messdaten	
	Risikomaß rechts u. links Spurwechselabsicht [0/1] Lenkmoment [N]

Tabelle 5: Aufgezeichnete fahrdynamische Parameter

- Bei der Berechnung der Spurwechselabsicht wird eine Vorgehensweise angewendet, die von den folgenden Annahmen ausgeht (nach Ehrmanns & Hochstädter, 2000): Eine Spurwechselabsicht liegt vor, wenn entweder vom Fahrer der Blinker gesetzt wird oder sich das Fahrzeug schnell an die Spurberandung annähert. Als Kriterium dient in der vorliegenden Untersuchung eine TLC („Time-to-Linecrossing“, Zeit bis zur Überquerung der Spurberandung) von weniger als 0.8 sec. Zudem liegt eine Spurwechselabsicht dann vor, wenn das Fahrzeug nahe an der Spurberandung in relativ großer Entfernung von der Spurmitte fährt. Dies ist dann der Fall, wenn sich das Fahrzeug um mehr als 25% von der „optimalen Distanz“ zur Fahrspurberandung entfernt.
- In die Berechnung des Spurwechsel-Risikos gehen die folgenden zwei Komponenten ein:
 1. die Zeitlücke (Relativabstand / Eigengeschwindigkeit)
 2. die Time-to-Collision (Relativabstand / Relativgeschwindigkeit)

Die TTC geht nur in die Berechnung mit ein, wenn sich das relevante Fremdfahrzeug an das Fahrzeug der Versuchsperson annähert. Sonst geht nur die Zeitlücke in die Risikobewertung ein. Das Risiko wird als proportional zu den Kehrwerten der beiden Größen angenommen und mit Proportionalitätsfaktoren linear überlagert:

$$Risiko = Faktor\ Zeitlücke / Zeitlücke + Faktor\ TTC / TTC$$

Für den Faktor Zeitlücke wird in der vorliegenden Untersuchung nach eingehenden Vorversuchen ein Wert von 0.2 und für den Faktor TTC Werte von 2.5 (nach hinten) bzw. 1.5 (nach vorne) gewählt.

Insgesamt werden Rohdaten aus 12 Experimentalfahrten erfasst. Diese Dateien werden zur weiteren Verarbeitung, zur graphischen Darstellung und Durchführung statistischer Tests in ein Ascii-Format konvertiert und nach SPSS (Statistical Package for the Social Sciences) importiert (Bühl & Zöfel, 2000). Die graphische Darstellung der Blickverläufe sowie der Mittelwertsunterschiede erfolgt mittels Microsoft Excel.

5.1.1.6 Beschreibung der Stichprobe

Die Untersuchung wird am Fahrsimulator der BMW AG München mit Großprojektion (Sichtwinkel ca. 210°) durchgeführt. Die mit einer Dauer von 18 Minuten relativ lang-

andauernden Experimentalfahrten und das mit der Großprojektion verbundene starke Eintauchen in die Simulation bringen das Problem mit sich, dass es bei einigen Fahrern zur sogenannten Simulatorkrankheit („motion-sickness“) kommen kann. Diese Krankheit kann dann auftreten, wenn die verschiedenen in der Simulation wahrgenommenen Sinneseindrücke nicht übereinstimmen. Das was man bei der Durchführung der Simulation erlebt hat, deckt sich nicht mit den Wahrnehmungen des Gleichgewichtssinnes. Die Sinne des Menschen werden also mit Informationen versorgt, die nicht zu den Informationen des Körpers passen. Als Ergebnis können die Versuchspersonen Folgeerscheinungen wie beispielsweise Schwindel, Erbrechen, Kopfweh und Desorientierung bekommen. Daher werden bevorzugt Fahrer aus der BMW-Versuchspersonenkartei eingeladen, die aufgrund der bisherigen Erfahrungen aus früheren Untersuchungen als diesbezüglich relativ resistent eingeschätzt werden können.

Die 7 männlichen Probanden weisen einen Altersdurchschnitt von 33.1 Jahren auf, die 5 weiblichen Probanden sind im Schnitt 35.7 Jahre alt. Der jüngste Fahrer ist 22, der älteste 59 Jahre alt.

Die Stichprobe kann großteils als technikinteressiert bezeichnet werden: Drei Probanden sind beruflich mit Programmierung bzw. Webdesign befasst, bei vier Probanden handelt es sich um Ingenieure in technischen Berufen. Der Rest der Stichprobe verteilt sich auf Berufe der „Old Economy“.

Bei der Auswahl der Versuchspersonen wird auf eine durchschnittliche jährliche Fahrleistung von mindestens 10.000 km geachtet. In Bezug auf die Fahrpraxis kann die Stichprobe als repräsentativ betrachtet werden: 8 der 12 Probanden geben an, im Jahr durchschnittlich zwischen 10.000 und 20.000 km zu fahren, 4 Probanden fahren mehr als 20.000 km pro Jahr.

5.1.2 Beschreibung des Sicherungsverhaltens beim Spurwechsel

5.1.2.1 Auswahl der auswertbaren Ausschervorgänge

Zunächst werden jene Situationen bestimmt, die hinsichtlich ihrer Anforderungen an den Fahrer vergleichbar sind und definierte Vorgaben erfüllen. Damit soll gewährleistet werden, dass durch die Unterschiedlichkeit der Verkehrsbedingungen - die Methode der Fahrsimulation erlaubt eine hohe Anzahl von Freiheitsgraden - keine zu große Varianz in die Analyse des Sicherungsverhaltens eingeht. Als Kriterien werden zugrundegelegt:

- Die gefahrene Geschwindigkeit zum Zeitpunkt des Ausschereins: flüssige Ausschervorgänge bei einer Eigengeschwindigkeit von mindestens 90 km/h.
- Die Ähnlichkeit des Manövers: Ausschervorgänge auf die mittlere Fahrspur aufgrund eines langsameren Fahrzeugs auf der rechten Spur bzw. Ausschervorgänge auf die äusserst linke Fahrspur aufgrund von Fremdfahrzeugen auf der mittleren Fahrspur.
- Zudem sollen die auftretenden Blicke des Fahrers eindeutig dem betreffenden Ausschervorgang zugeordnet werden können, also nicht aufgrund anderer Einflüsse wie beispielsweise dem überraschenden Fahrverhalten eigentlich irrelevanter Fremdfahrzeuge erfolgen.

Die Auswahl der verwertbaren Ausschervorgänge erfolgt zunächst durch den Auswertenden bei der Sichtung der Beobachtungsvideos. Das erstgenannte Kriterium „Geschwindigkeit zum Zeitpunkt des Ausschereins“ wird anhand der fahrdynamischen Daten überprüft. Es ergibt sich nach Anwendung der oben beschriebenen Kriterien für die Gruppe der 12 Versuchspersonen des Untersuchungsabschnitts 1 folgende Anzahl an vergleichbaren, auswertbaren Ausschersituationen:

Experimentalbedingung	Anzahl auswertbarer Ausschervorgänge
Kontrollfahrt	137
Fahrt unter Ablenkung	123

Tabelle 6: Anzahl auswertbarer Ausschervorgänge für Kontroll- und Experimentalfahrt

In Tabelle 6 ist die Anzahl auswertbarer Ausschervorgänge sowohl für die Kontrollfahrt als auch für die Fahrt unter Ablenkung (siehe hierzu Kapitel 5.2) aufgeführt. Die Tabelle zeigt eine etwas höhere Anzahl an auswertbaren Ausschervorgängen für die Kontrollbedingung, also die Fahrt ohne ablenkende Nebentätigkeiten.

Schon bei der Sichtung der Beobachtungsvideos ist festzustellen, dass die Anwendung des Schulterblicks stark vom jeweiligen Fahrer abhängig ist: während einige Fahrer häufig in unmittelbarer zeitlicher Nähe des Erreichens der Spurberandung sichern, wenden andere Fahrer den Schulterblick überhaupt nicht an. Nur bei 6 der 12 teilnehmenden Versuchspersonen sind während der Experimentalfahrten überhaupt Blicke über die Schulter zur Absicherung zu beobachten. Daher muss bei der nachfolgenden Darstellung der Ergebnisse (bspw. mittlere Blickäufigkeit und –dauer) die relativ geringe Stichprobengröße im Falle des Schulterblicks beachtet werden.

5.1.2.2 Vorgehensweise bei der Darstellung der Blickverläufe beim Spurwechsel

Zunächst werden im folgenden für die 12 teilnehmenden Versuchspersonen die Sicherungsblicke vor, während und nach dem Spurwechsel grafisch dargestellt. Das Sicherungsverhalten der einzelnen Probanden stellt sich sowohl in seiner Intensität als auch in der Häufigkeit der Nutzung der einzelnen Informationsquellen (Innen- bzw. Aussenspiegel, Schulterblick) als sehr unterschiedlich dar. Aufgrund dieser Variabilität im Blickverhalten wird bei der Auswertung darauf verzichtet, die Blickverläufe der Fahrer zu mitteln. Es ist also nicht möglich, ein für alle Fahrer repräsentatives Blickverhalten darzustellen. Daher stellt sich die Untersuchung der Blickverläufe zunächst als Einzelfallanalyse dar.

Bei der Erstellung der nachfolgend verwendeten Blickverlaufsgrafiken wird so vorgegangen, dass alle Spurwechselsituationen, die ein Fahrer während der Fahrt durchfahren hat, zusammengefasst werden und die Blickzuwendungshäufigkeit zu jedem Zeitpunkt des Manövers errechnet wird. Dieses Vorgehen soll anhand eines Beispiels in Abbildung 11 erläutert werden:

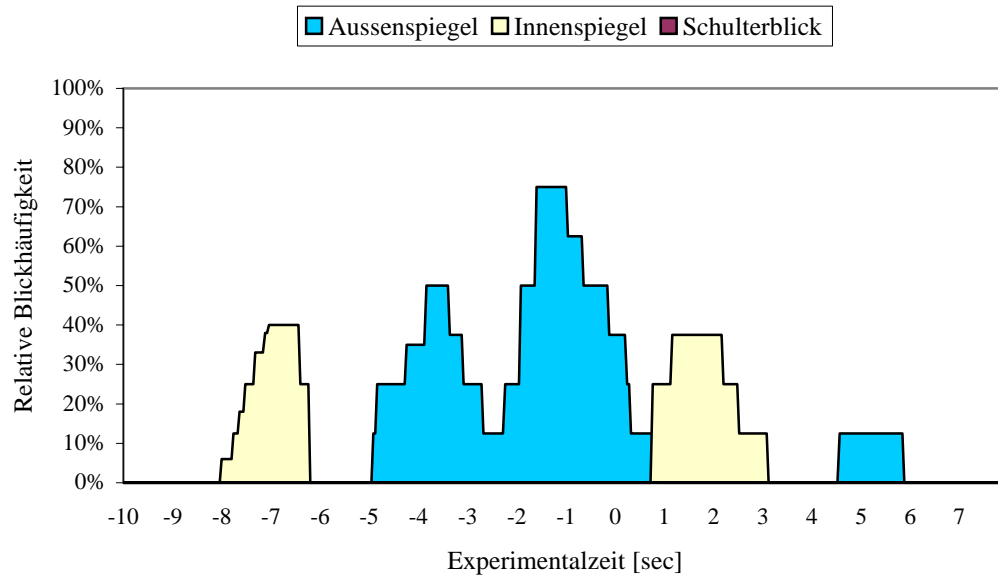


Abbildung 11: Beispiel für eine Blickverlaufsgrafik

Die Grafik stellt den zeitlichen Verlauf des Sicherungsverhaltens im Intervall von -10 bis +8 Sekunden um den Zeitpunkt des Ausscherens (Nullpunkt) dar. Das Beispiel zeigt, dass der betreffende Fahrer in einer frühen Phase des Manövers (-8 bis -6 sec) in etwa 40% der aufgetretenen Situationen den Innenspiegel nutzt. Im unmittelbaren Vorfeld und während des Ausscherens (-4 bis 0 sec) treten nur Aussenspiegelblicke auf – diese sind jedoch gerade während des Überfahrens der Spurberandung sehr häufig zu beobachten (in ca. 75% der untersuchten Manöver). Nach Erreichen der Zielspur (1 bis 3 sec) treten dann wieder verstärkt Blicke in den Innenspiegel auf (in bis zu 40% der Manöver). Blicke über die Schulter sind in dem dargestellten Beispiel nicht zu verzeichnen.

Eine Blickhäufigkeit von 100% bedeutet demnach, dass der betreffende Fahrer zu dem gegebenen Zeitpunkt bei jedem seiner Ausschervorgänge den Aussenspiegel genutzt hat; eine Blickhäufigkeit von 50% zum gegebenen Zeitpunkt zeigt an, dass die betreffende Versuchsperson dort bei jedem zweiten ihrer Spurwechselvorgänge einen Aussenspiegelblick gezeigt hat.

Zu beachten ist bei der Betrachtung der Verläufe, dass die Stichprobengröße zum Teil erheblich variiert und somit auch die statistische Aussagekraft als unterschiedlich betrachtet werden muss. Zudem sollte die Reihenfolge der Fahrten für die einzelnen Fahrer betrachtet werden, da es bei längerer Gewöhnung an den Simulator und an das Ver-

kehrsgeschehen unter Umständen zu einer Reduzierung des Blickverhaltens kommen kann.

5.1.2.3 Blickverläufe mit verstärkter Nutzung des Innenspiegels

In diesem Abschnitt der vorliegenden Arbeit werden nur exemplarisch Vertreter unterschiedlicher Blickstrategien vorgestellt und beschrieben. Die Blickverlaufsgrafiken aller 12 Probanden sind im Anhang zu finden.

Bei der vergleichenden Betrachtung der Blickverteilungen der einzelnen Fahrer lässt sich feststellen, dass die Häufigkeit, mit der die einzelnen Informationsquellen - Innen-, Aussenspiegel sowie Schulterblick - genutzt werden, zwischen den Fahrern stark variiert. Zunächst werden beispielhaft die Blickverläufe von zwei Probanden dargestellt, die bei ihren Ausschermanövern bevorzugt den Innenspiegel zur Absicherung benutzt haben:

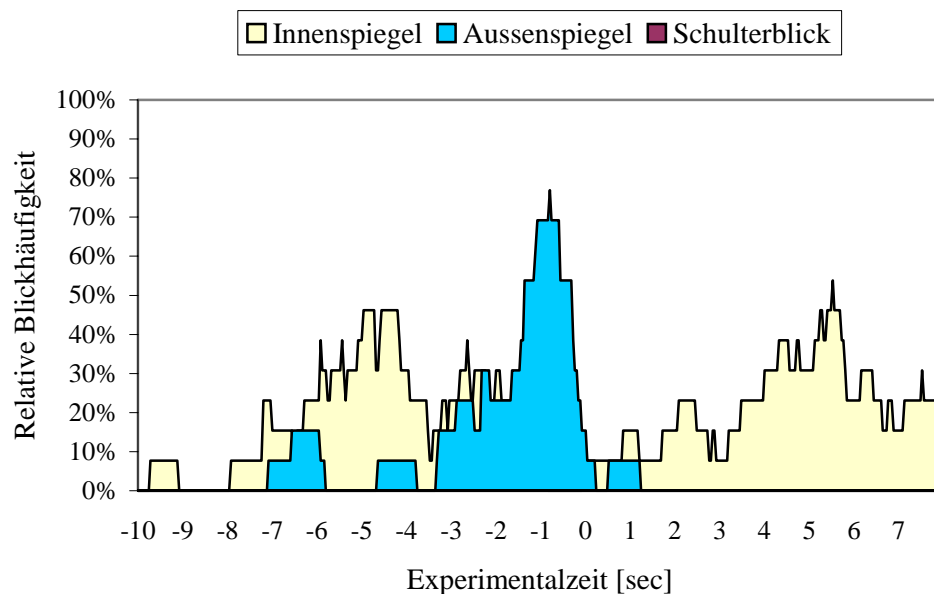


Abbildung 12: Darstellung des Blickverlaufs von Versuchsperson 04 (N=13 Spurwechsel)

Die in Abbildung 12 dargestellte Versuchsperson 04 zeigt in der Kontrollbedingung ein sehr charakteristisches Sicherungsverhalten. Zunächst treten in einer relativ frühen Phase (Fernbereich) Innenspiegelblicke auf, im unmittelbaren Vorfeld der Spurüberschreitung (Nahbereich) fast ausschließlich Aussenspiegelblicke. Erst nach vollzogenem Spurwechsel wird wiederum mittels des Innenspiegels der rückwärtige Verkehr überwacht. Es sind keine Schulterblicke zu beobachten.

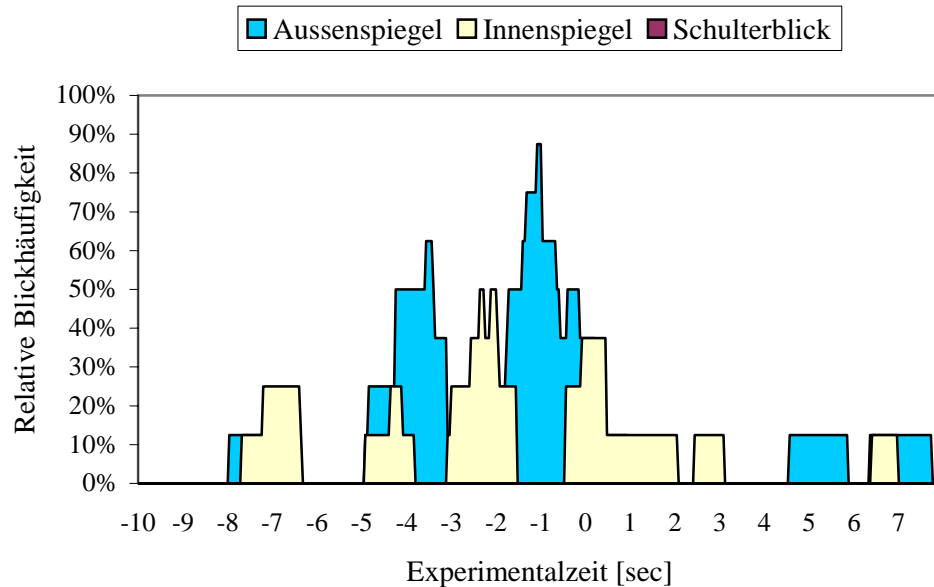


Abbildung 13: Darstellung des Blickverlaufs von Versuchsperson 01 (N=8 Spurwechsel)

Versuchsperson 01 nutzt sowohl Innen- als auch Aussenspiegel während des Spurwechsels, letzteren verstärkt im unmittelbaren Vorfeld der Spurüberschreitung (in der Nähe des Nullpunkts). Bei diesem Fahrer sind keine Schulterblicke zu beobachten. Vor allem im Falle der Nutzung des Aussenspiegels zeigt sich eine zweigipflige Verteilung der Blicke (-5 bis -3 sec sowie -1.5 bis +1.5 sec).

5.1.2.4 Blickverläufe mit verstärkter Nutzung des Aussenspiegels

Im Gegensatz zu den im vorherigen Abschnitt dargestellten Blickverläufen werden nun zwei Beispiele für Probanden beschrieben, die bei ihren Spurwechselmanövern bevorzugt den Aussenspiegel zur Absicherung im Vorfeld und während des Spurwechsels nutzen. Innenspiegel- sowie Schulterblicke sind bei diesen Fahrern nur sehr selten zu beobachten:

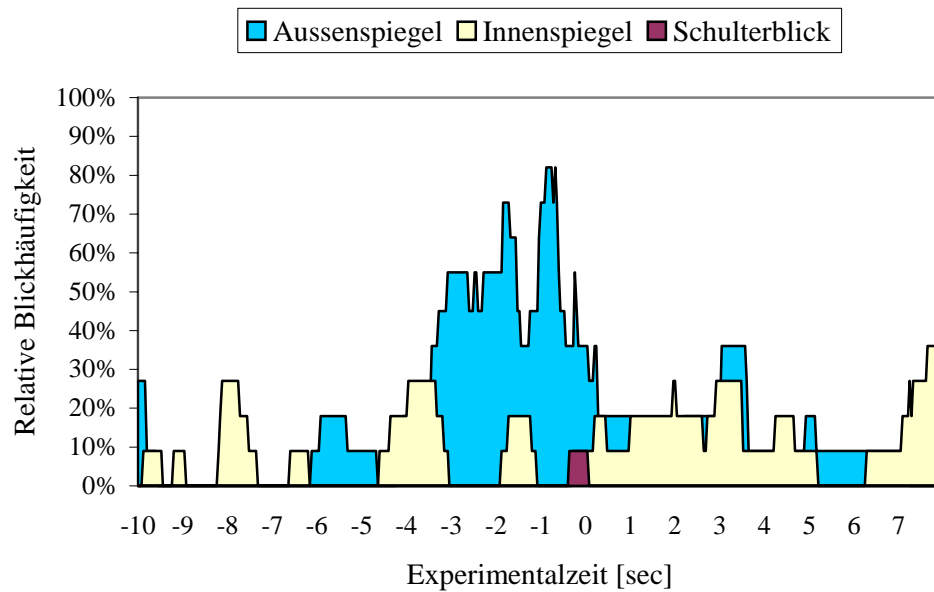


Abbildung 14: Darstellung des Blickverlaufs von Versuchsperson 07 (N=17 Spurwechsel)

Die in Abbildung 14 dargestellte Versuchsperson 07 sichert während der Fahrt vorrangig mittels des Aussenspiegels. Blicke in den Innenspiegel sind vergleichsweise selten und zumeist erst nach dem Überqueren der Spurberandung zu beobachten. Ein Sicherungsblick über die Schulter ist nur in zwei der 17 Spurwechselsituationen nachweisbar.

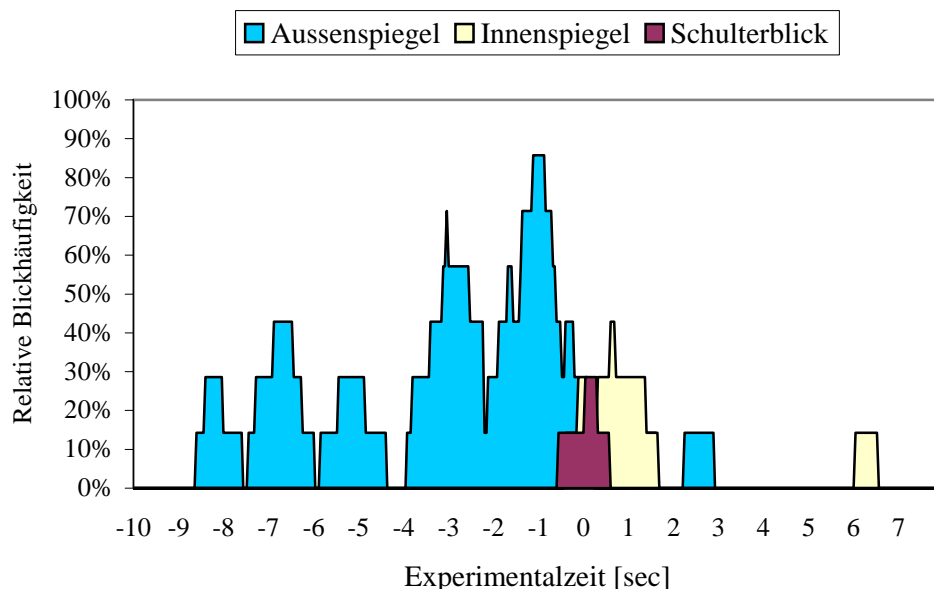


Abbildung 15: Darstellung des Blickverlaufs von Versuchsperson 08 (N=7 Spurwechsel)

Versuchsperson 08 sichert während des Spurwechsels fast ausschließlich über den Aussenspiegel ab (siehe Abbildung 15). Auch die Sicherung im Fernbereich (-9 bis -5 sec) erfolgt mittels des Aussenspiegels. Darüberhinaus sind bei etwa einem Drittel der unter-

suchten Spurwechselsituationen Schulterblicke beim Erreichen der Spurberandung zu beobachten.

5.1.2.5 Blickverläufe mit verstärkter Nutzung des Schulterblicks

Allgemein kann festgestellt werden, dass nur sehr wenige Probanden beim Spurwechsel einen Schulterblick zeigen. Nachfolgend werden die Blickverläufe derjenigen beiden Probanden dargestellt, die diesen am konsequentesten angewandt haben:

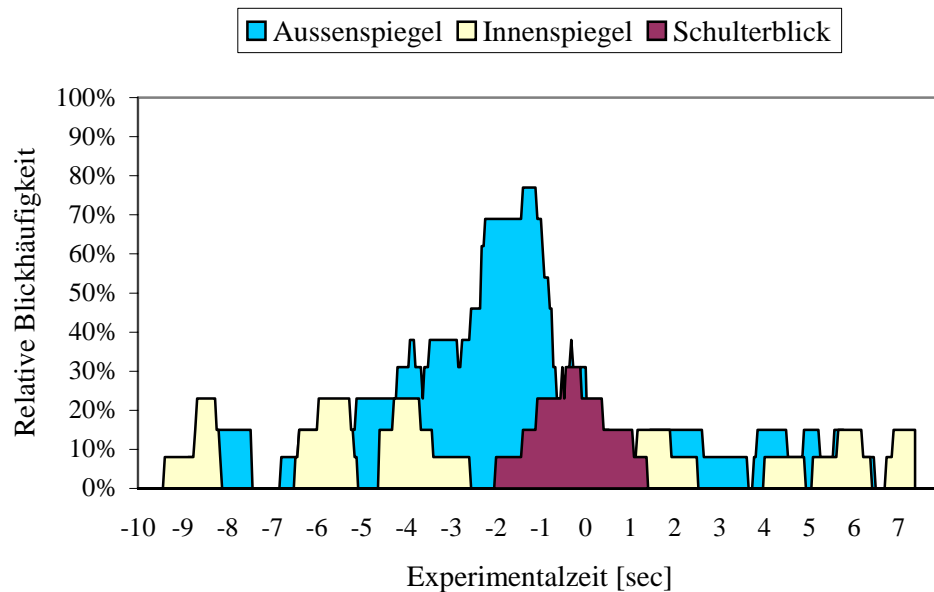


Abbildung 16: Darstellung des Blickverlaufs von Versuchsperson 05 (N=13 Spurwechsel)

Die in Abbildung 16 dargestellte Versuchsperson 05 ist einer der wenigen Probanden, der in relativ konsequenter Weise den Schulterblick im unmittelbaren Vorfeld der Spurüberschreitung anwenden. Bei diesem Probanden kann ebenfalls allgemein festgestellt werden, dass er vor dem Ausscheren zumeist mittels des Aussenspiegels sichert, der Innenspiegel wird nur selten benutzt.

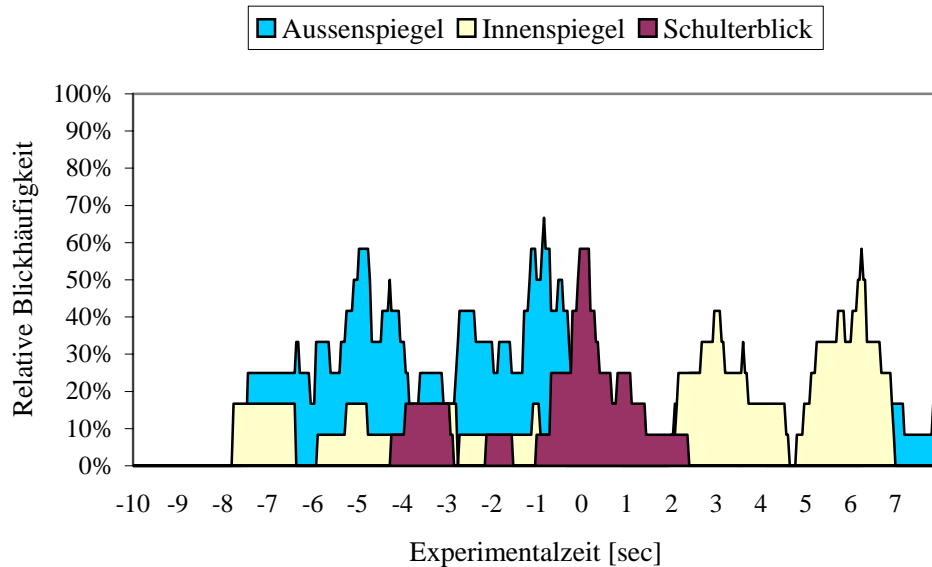


Abbildung 17: Darstellung des Blickverlaufs von Versuchsperson 11 (N=12 Spurwechsel)

Die Blickverläufe während der Ausschersituationen zeigen, dass Versuchsperson 11 hier häufiger den Aussenspiegel als den Innenspiegel nutzt, den letzteren verstärkt nach vollendetem Spurwechsel (+2 bis +7 sec) zur Überwachung von möglicherweise auffahrenden Fahrzeugen. Bei diesem Fahrer sind verhältnismäßig häufig Schulterblicke im unmittelbaren Vorfeld und während des Ausscherens zu beobachten (-1 bis +2 sec).

5.1.2.6 Verteilung der Sicherungsblicke auf die Handlungsphasen

Nachdem im vorangegangenen Kapitel das Sicherungsverhalten einzelner Probanden detailliert dargestellt wurde, soll nun ermittelt werden, in welchen Phasen des Spurwechsels welche Sicherungsblicke auftreten. Zu diesem Zweck wird das Manöver - wie bereits in Kapitel 2.4.3 dargestellt - in die folgenden Handlungsphasen unterteilt:

- (1) In der ersten Phase des Spurwechsels, der *Annäherungs- und Orientierungsphase*, wird das Manöver vorbereitet, indem der Fahrer versucht, das Verkehrsgeschehen zu erfassen. Er sichert verstärkt durch Blicke in den Rückspiegel bzw. in den Innenspiegel nach hinten ab und überwacht auch den vorausfahrenden Verkehr.
- (2) In der zweiten Phase, der *Handlungsphase*, leitet der Fahrer das Manöver ein und wechselt anschließend auf die Zielspur. Dabei muss er jederzeit bereit sein einzugreifen, wenn beispielsweise Leistungsgrenzen des Fahrzeugs beim Überholen erreicht werden oder ein Abbruch des Manövers angezeigt ist.

- (3) In der dritten Phase, der *Stabilisierungsphase*, schließlich wird das Fahrzeug in der Zielfahrspur stabilisiert und die normale Fahrt wieder aufgenommen. Hier ist es die Aufgabe des Fahrers, einen geeigneten Querabstand auf der Zielfahrspur zu finden und wieder einzuregeln.

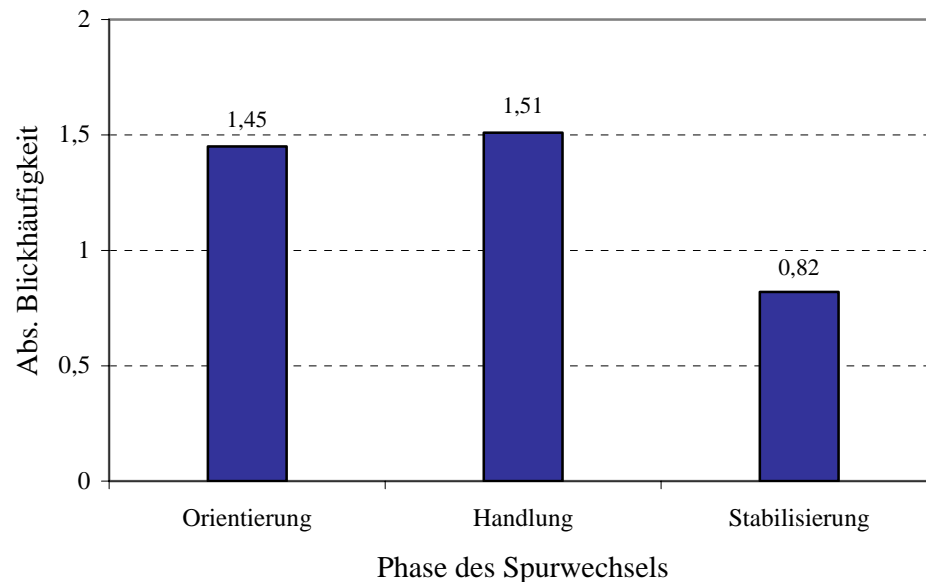


Abbildung 18: Auftretenshäufigkeit von Sicherungsblicken in Abhängigkeit der Handlungsphase

Abbildung 18 zeigt, dass in Orientierungs- und Handlungsphase in etwa gleich viele Sicherungsblicke erfolgen. Wenn zusätzlich zwischen den einzelnen Blickorten (Innen-, Aussenspiegel, Schulterblick) unterschieden wird, ergibt sich folgende Verteilung:

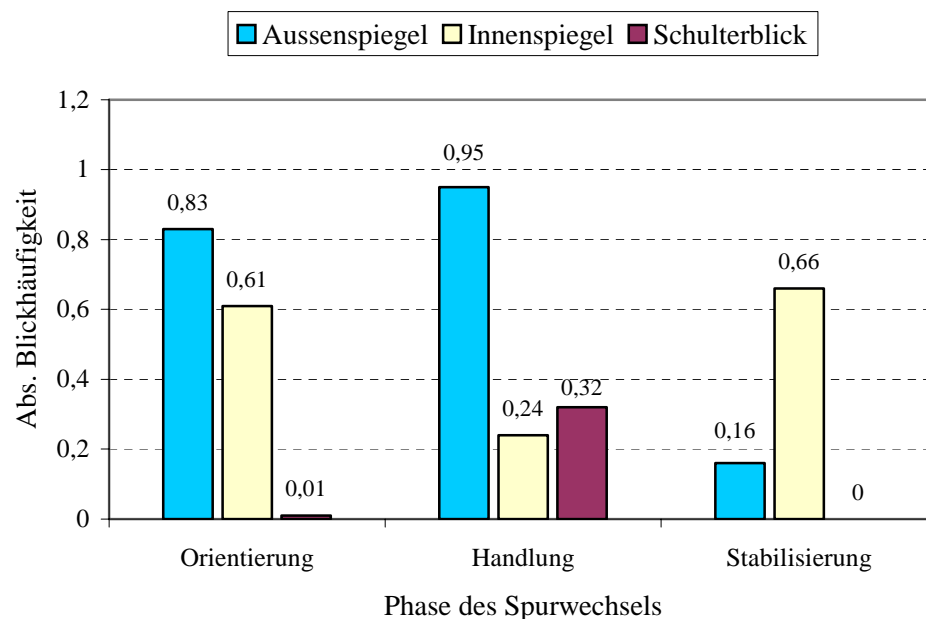


Abbildung 19: Häufigkeit von Sicherungsblicken in Abhängigkeit von Handlungsphase und Blickort

Die Verteilung der Sicherungsblicke auf die einzelnen Handlungsphasen in Abbildung 19 bestätigt das Bild, welches bereits aus der Blickverteilung der einzelnen Probanden gewonnen werden konnte: Allgemein wendet die Stichprobe zur Sicherung bevorzugt Blicke in den Aussenspiegel an - diese treten vor allem vor und während des Spurwechsels auf. Sicherungsblicke in den Innenspiegel sind hauptsächlich in einer frühen Phase des Manövers (Orientierung) und nach vollzogenem Spurwechsel zu finden (Stabilisierung). Die relativ seltenen Schulterblicke sind lediglich in unmittelbarer zeitlicher Nähe des Überschreitens der Spurbegrenzung (Handlungsphase) zu beobachten.

5.1.2.7 Mittlere Blickdauer und Blickhäufigkeit

Nach der Darstellung des Verlaufs der Sicherungsaktivität für die einzelnen Probanden soll nun untersucht werden, wie lange die Fahrer im Mittel für einen Sicherungsblick im Vergleich zwischen den einzelnen Blickorten (Innenspiegel, Aussenspiegel, Schulterblick) benötigen. Es wird dabei nicht unterschieden, in welcher Phase des Spurwechsels der betreffende Blick getätigt wird. In der folgenden Abbildung sind für die einzelnen Blickorte die über alle Versuchspersonen gemittelten Blickdauern [sec] gegenübergestellt:

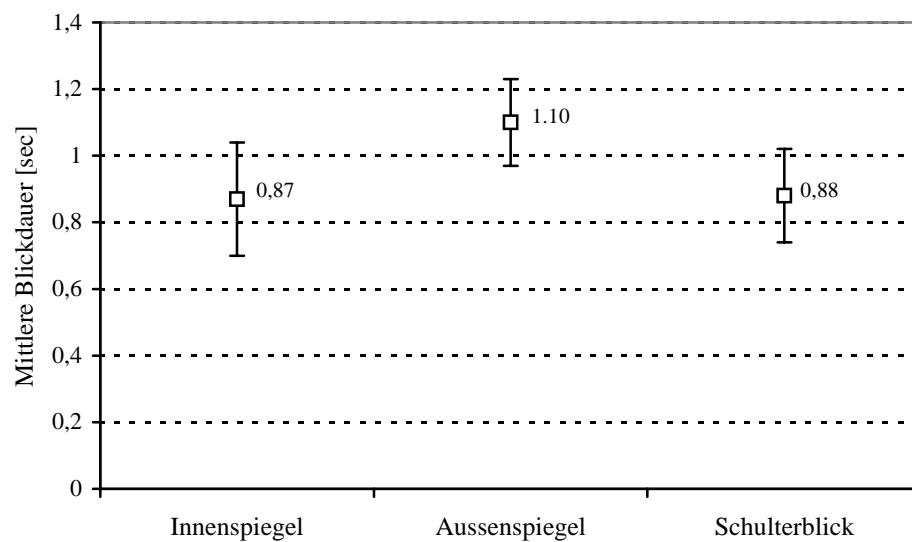


Abbildung 20: Mittlere Blickdauer [sec] (+/- 1 Stdabw.) getrennt nach Blickorten (N=137 Spurwechsel)

Abbildung 20 zeigt, dass die mittlere Blickdauer in Abhängigkeit vom Blickort variiert. Die Fahrer wenden für Blicke in den Aussenspiegel im Mittel zwei Zehntelsekunden mehr auf als für Blicke in den Innenspiegel oder für Schulterblicke. Bei Überprüfung der Mittelwertsunterschiede mit Hilfe einer Varianzanalyse mit Messwiederholung zeigt

es sich, dass der Blickort einen signifikanten Einfluss auf die mittlere Blickdauer ausübt ($F(2,22) = 15.09; p < .01$).

Zu beachten ist die bereits angesprochene, relativ geringe Stichprobengröße im Falle der Schulterblicke, da nur 6 der 12 Versuchspersonen bei einem Teil der Ausschervorgänge einen Schulterblick zeigen.

In der folgenden Abbildung 21 wird nun dargestellt, wie oft im untersuchten Zeitintervall (-10 bis +8 sec um den Zeitpunkt der Spurüberschreitung) im Mittel Sicherungsblicke die unterschiedlichen Blickorte (Innen-, Aussenspiegel, Schulterblick) betreffend auftreten. Wiederum wird die Blickhäufigkeit über alle 12 Versuchspersonen gemittelt:

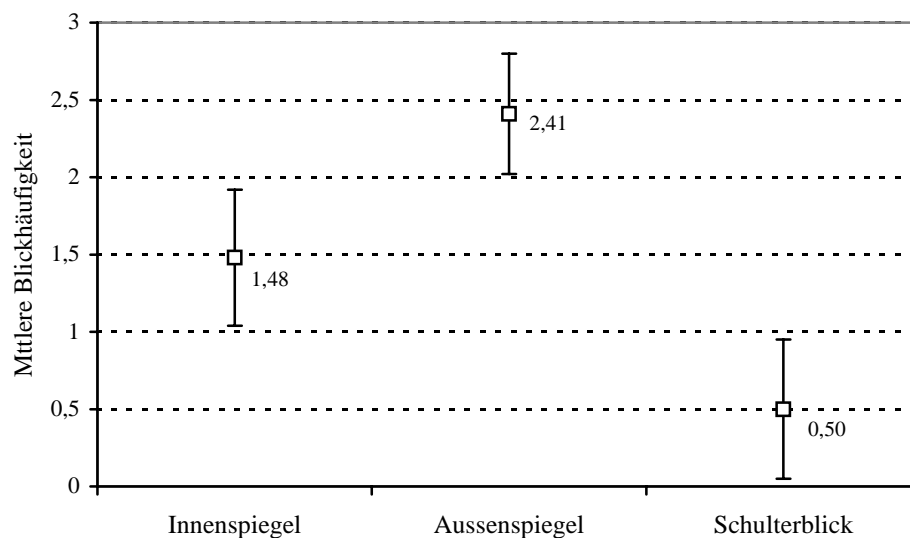


Abbildung 21: Mittlere Blickhäufigkeit pro Ausschervorgang (+/- 1 Stdabw.) getrennt nach Blickorten ($N=137$ Spurwechsel)

Bei der Betrachtung der Blickhäufigkeiten ist festzustellen, dass während des Spurwechsels im Mittel etwa doppelt so häufig Blicke in den Aussenspiegel im Vergleich zu Blicken in den Innenspiegel auftreten. Zudem macht die Abbildung 21 deutlich, dass relativ wenige Schulterblicke zu beobachten sind. Nur bei in etwa jedem zweiten Spurwechselvorgang treten Schulterblicke auf. Bei varianzanalytischer Überprüfung zeigt es sich, dass der Blickort einen hoch signifikanten Einfluss auf die Blickhäufigkeit ausübt ($F(2,22) = 62.99; p < .01$).

5.1.3 Beschreibung des Fahrverhaltens beim Spurwechsel

Nachdem im vorangegangenen Kapitel das Sicherungsverhalten während des Spurwechselmanövers ausführlich beschrieben wurde, soll nun das Fahrverhalten einer de-

taillierten Analyse unterzogen werden. Hierzu werden während des Spurwechselvorganges - also im Zeitraum von -10 bis +8 Sekunden um den Zeitpunkt des Erreichens der Spurberandung - die Ausgangsgeschwindigkeit, die Lenktätigkeit sowie die Spurhaltung erhoben.

5.1.3.1 Geschwindigkeit bei Beginn des Spurwechsels

Den Probanden wird mittels Instruktion eine „Richtgeschwindigkeit“ von 120 km/h vorgegeben, im Zuge von Überholmanövern haben sie jedoch die Möglichkeit, diese an die Gegebenheiten der Verkehrssituation anzupassen. Zunächst soll untersucht werden, bei welcher Ausgangsgeschwindigkeit die Spurwechsel begonnen werden. Zu diesem Zweck wird in der folgenden Abbildung die Geschwindigkeit zum Zeitpunkt des Erreichens der Spurberandung („Nullpunkt“) für die beiden Experimentalbedingungen vergleichend gegenübergestellt. Dabei werden die aufgetretenen Geschwindigkeiten in Klassen zusammengefasst, so dass sich die folgende Verteilung ergibt:

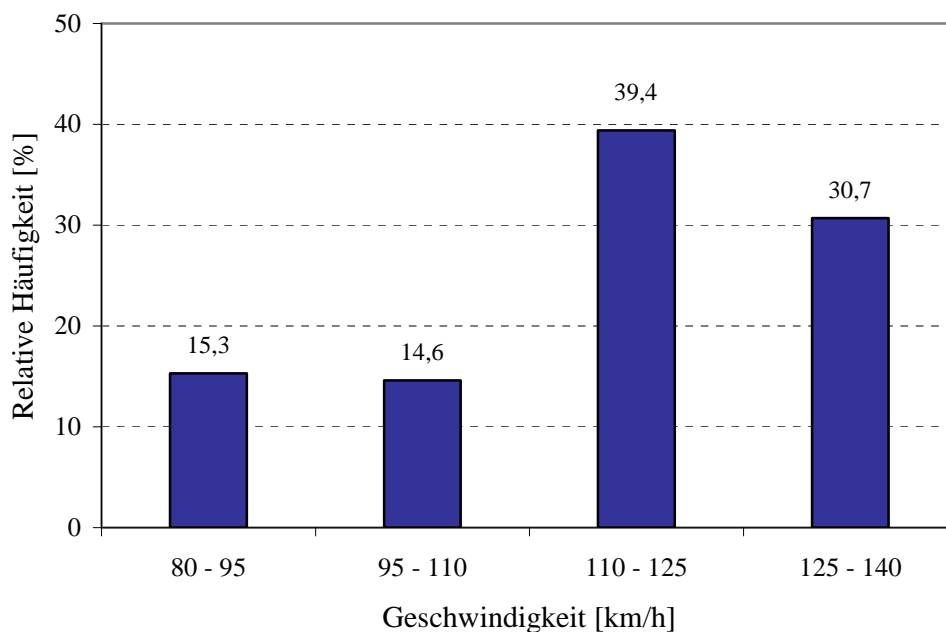


Abbildung 22: Verteilung der Ausgangsgeschwindigkeiten bei Beginn des Spurwechsels

Die Einteilung der Ausgangsgeschwindigkeiten bei Beginn des Spurwechsels in Klassen zeigt, dass während der Kontrollfahrten die meisten Ausschervorgänge bei einer Ausgangsgeschwindigkeit im Bereich von 110 bis 125 km/h auftreten. Darüberhinaus werden ebenfalls viele Manöver bei einer Ausgangsgeschwindigkeit von mehr als 125 km/h begonnen.

5.1.3.2 Beschreibung der Lenktätigkeit

Van Winsum, de Waard & Brookhuis (1999) unterscheiden als Ergebnis ihrer Simulationsuntersuchung drei aufeinanderfolgende Phasen des Spurwechsels: In einer ersten Phase erreicht der Lenkausschlag ein Maximum, woraufhin das Lenkrad wiederum in die entgegengesetzte Richtung eingeschlagen wird. Die zweite Phase endet, wenn sich das Fahrzeug maximal versetzt zur Fahrtrichtung bewegt, was im Normalfall mit dem Umkehrpunkt des Lenkradwinkels bei Null Grad gleichzusetzen ist. In der dritten Phase wird das Fahrzeug in der Zielfahrspur stabilisiert, indem ein zweites Lenkradwinkelmaximum mit entgegengesetztem Vorzeichen erreicht wird.

Diese Systematik soll nun mittels der in der vorliegenden Untersuchung gesammelten Daten verifiziert werden. Zu diesem Zweck werden von jedem Probanden diejenigen drei Spurwechsel herangezogen, in denen das Manöver am störungsfreisten vollzogen werden konnte (keine Verzögerung oder Abbruch des Manövers). In der folgenden Abbildung wird somit der Lenkwinkel für drei Spurwechselmanöver der 12 Versuchspersonen dargestellt, es ergeben sich also 36 Verläufe:

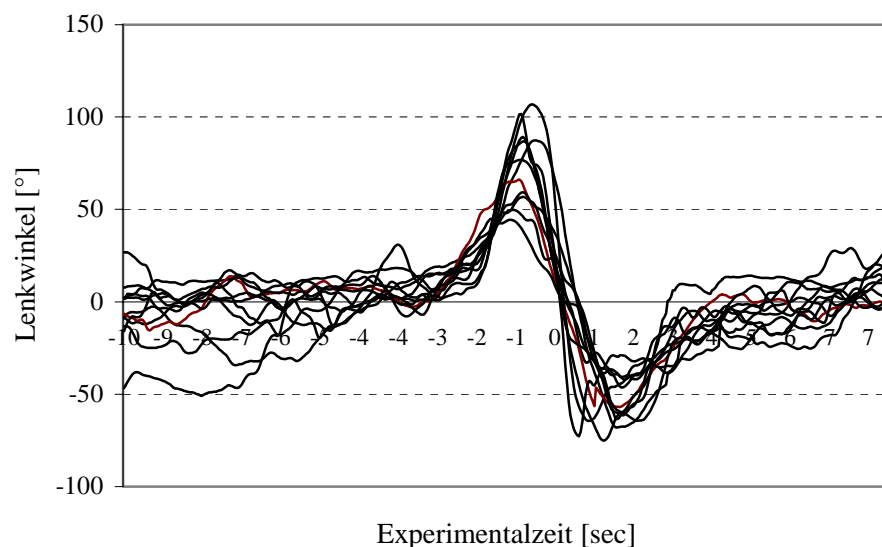


Abbildung 23: Verlauf des Lenkwinkels für alle Versuchspersonen während des Spurwechsels ($N=36$ Spurwechsel)

Wenn nun auch diese Verläufe über alle Versuchspersonen gemittelt werden, so ergibt sich das folgende Bild:

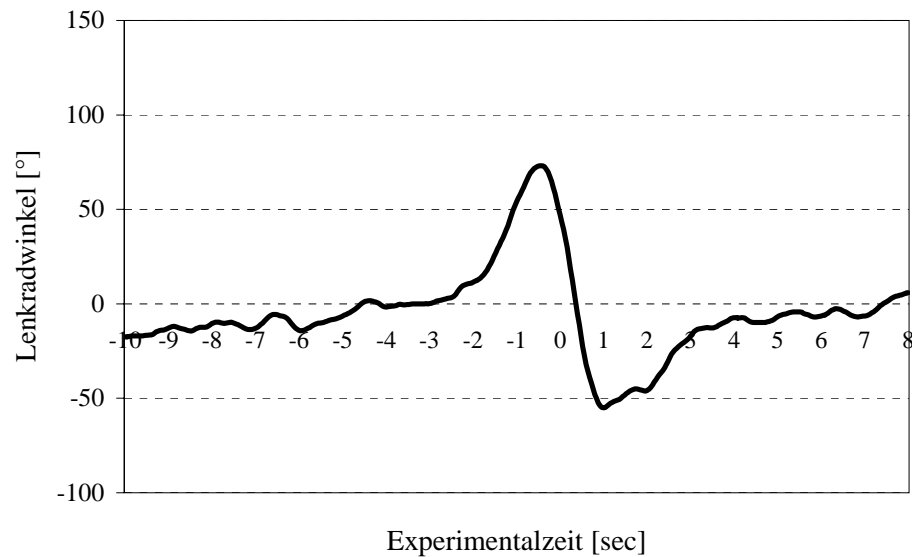


Abbildung 24: Mittlerer Lenkwinkel für alle Versuchspersonen während des Spurwechsels ($N=36$ Spurwechsel)

Anhand der aus der vorliegenden Untersuchung gewonnenen Daten lassen sich die Ergebnisse von van Winsum et al. (1999) reproduzieren: auch in der vorliegenden Untersuchung erfolgt zunächst ein Lenkeinschlag nach links bis ein Maximalwert erreicht wird (Phase 1). Daraufhin lenken die Probanden in die entgegengesetzte Richtung bis sich das Fahrzeug maximal versetzt zur Fahrtrichtung bewegt (Phase 2). Der Schnittpunkt der Nulllinie stellt den Beginn der dritten Phase dar, in der das Fahrzeug in der Zielfahrspur stabilisiert werden muss. Hier wird ein erneutes Maximum mit negativem Vorzeichen erreicht.

5.1.3.3 Beschreibung der Spurhaltung

Nach der Betrachtung des Lenkverhaltens soll nun auch die Spurhaltung während des Spurwechsels einer genaueren Analyse unterzogen werden. Zu diesem Zweck wird in der folgenden Abbildung der zeitliche Verlauf des Abstands zum rechten Fahrbahnrand während des Spurwechselmanövers dargestellt. Auch hier bildet der Nullpunkt der x-Achse den Zeitpunkt, an dem das Fahrzeug im Verlauf des Spurwechsels die Spurbearbeitung erreicht:

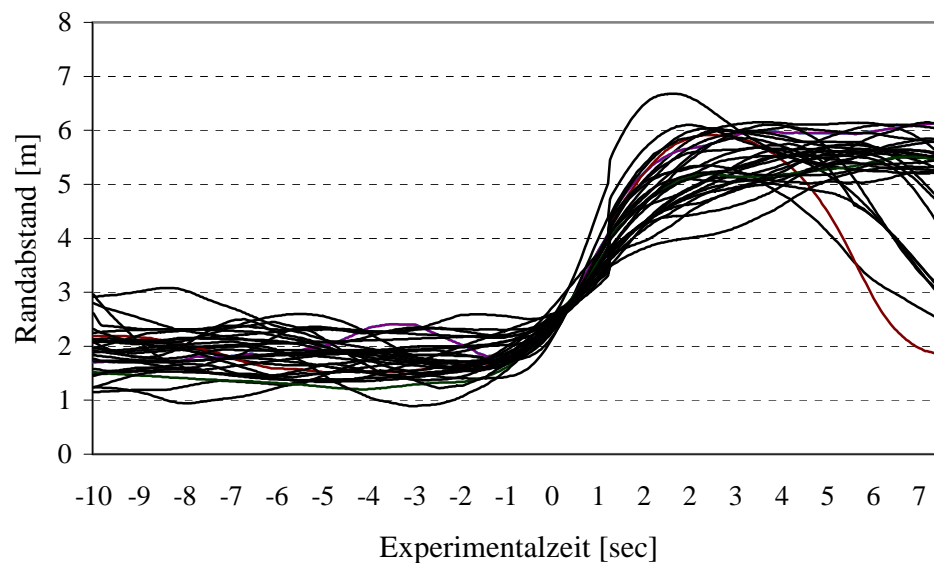


Abbildung 25: Abstand zum rechten Fahrbahnrand [m] während des Spurwechsels für alle Versuchspersonen (N=36 Spurwechsel)

In der folgenden Abbildung werden nun wiederum die Verläufe der 36 Spurwechselmanöver gemittelt - somit wird der über alle Probanden gemittelte Randabstand zum rechten Fahrbahnrand dargestellt:

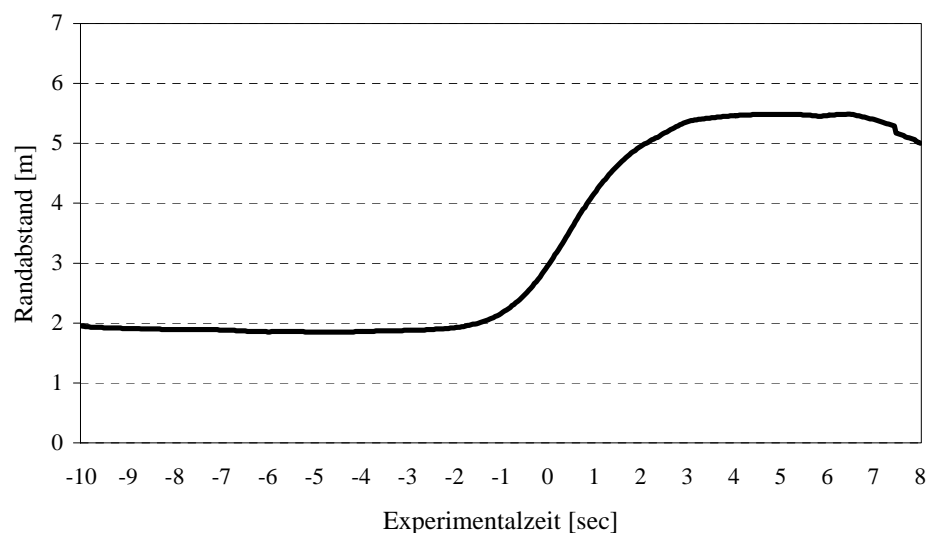


Abbildung 26: Mittlerer Abstand zum rechten Fahrbahnrand während des Spurwechsels (N=36 Spurwechsel)

Abbildung 26 zeigt einen charakteristischen Verlauf. Ein Randabstand von in etwa drei Meter markiert den Zeitpunkt, an dem das Fahrzeug die Spurberandung erreicht. Nach ungefähr drei Sekunden ist die Zielspur erreicht und das Fahrzeug wird dort stabilisiert

(bei einem Randabstand von ca. 5.5 Meter). Im unmittelbaren Vorfeld des Ausscherens kann eine leichte Annäherung an den rechten Fahrbahnrand beobachtet werden.

5.1.4 Zusammenfassung der Ergebnisse

Der erste Experimentalteil der vorliegenden Arbeit beschäftigt sich mit dem Fahrerverhalten während zeitkritischer Fahrsituationen und behandelt noch nicht die Ablenkungsproblematik. Die wichtigsten Ergebnisse der Analyse von Sicherungs- und Fahrverhalten sollen hier nun nochmals kurz zusammengefasst werden.

5.1.4.1 Interindividuelle Unterschiede im Sicherungsverhalten

Das Sicherungsverhalten der 12 teilnehmenden Fahrer stellt sich sehr unterschiedlich dar und erschwert somit die Bestimmung eines für alle Versuchspersonen typischen Ablaufs des Sicherungsverhaltens:

Schon die Häufigkeit, mit der die einzelnen Fahrer die Spiegel nutzen, weist teilweise erhebliche Unterschiede auf. Allerdings muss in diesem Zusammenhang erwähnt werden, dass aufgrund der eingeschränkten Reproduzierbarkeit in der Fahrsimulation sehr unterschiedliche Situationen und damit Anforderungen an den Fahrer erfasst werden. So können die zugrundeliegenden Ausschervorgänge aufgrund des eingeschränkt kontrollierbaren Verkehrsgeschehens ein völlig unterschiedliches Sicherungsverhalten erfordern.

Einige der Fahrer nutzen relativ konsequent den Innenspiegel, während andere fast ausschließlich mittels des Aussenspiegels sichern. Hier kann in etwa eine Zweiteilung der Stichprobe vorgenommen werden: Während die Versuchspersonen 01, 04, 05, 06 und 07 relativ oft den Innenspiegel benutzen, wird dieser von den übrigen Fahrern (02, 03, 08, 10, 11, 12) sehr selten angewandt.

5.1.4.2 Darstellung eines typischen Handlungsablaufs

Trotz der beobachteten interindividuellen Unterschiede im Sicherungsverhalten soll versucht werden, anhand der gewonnenen Daten einen charakteristischen Handlungsablauf darzustellen. Die folgenden Abbildungen sind dabei kein Resultat von Mittelwertbildungen, sondern sie fassen die Erkenntnisse der vorliegenden Datenanalyse und die gemachten Beobachtungen in intuitiver Weise zusammen. Es wird versucht, zwei unter-

schiedliche Fahrertypen, den „Innenspiegel-Typ“ und den „Aussenspiegel-Typ“ zu unterscheiden:

Der „Innenspiegeltyp“:

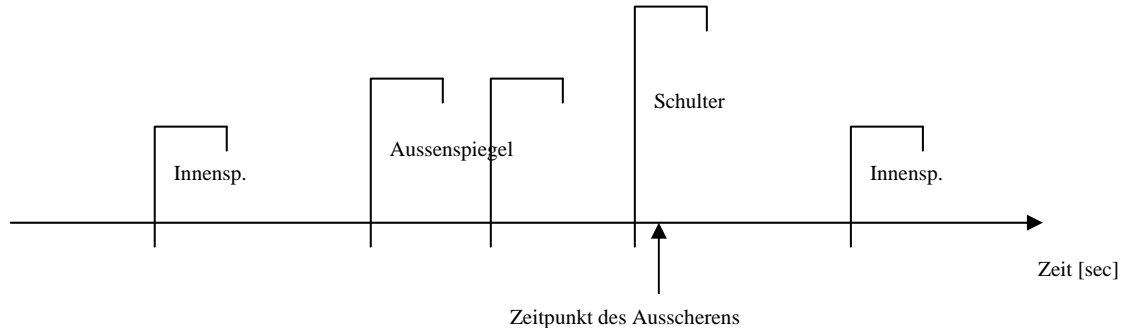


Abbildung 27: Typischer Blickverlauf während eines Ausschervorganges „Innenspiegeltyp“

- In einer relativ frühen Phase nutzt der „Innenspiegel-Fahrertyp“ den Innenspiegel, um sich einen Überblick über das nachfolgende Verkehrsgeschehen im Fernbereich zu verschaffen (Orientierungsphase - Bereich: -8 bis -6 sec).
- Danach ist eine Häufung von Aussenspiegelblicken zu beobachten, die dem Einleiten des Spurwechsels vorausgehen (Bereich: -5 bis -3 sec). Diese sind hinsichtlich ihrer Dauer etwas länger als die Innenspiegelblicke.
- Kurz vor dem eigentlichen Ausschervorgang bzw. während des Ausscherens werden zur Überwachung des Nahbereichs (toter Winkel) Aussenspiegelblicke oder von einigen Fahrern auch Schulterblicke angewendet (Bereich -2 bis +1 sec).
- Nach vollzogenem Spurwechsel ist eine Art Vergewisserungsblick in den Innenspiegel zu beobachten (Bereich: +4 bis +6 sec), um sicherzustellen, dass sich keine Fremdfahrzeuge in gefährlicher Weise von hinten annähern.

Der „Aussenspiegeltyp“

Beim „Aussenspiegel-Typ“ liegt der Hauptunterschied zum „Innenspiegel-Typ“ darin begründet, dass auch die Absicherung im Fernbereich mittels des Aussenspiegels vorgenommen wird. Es tritt höchstens nach vollzogenem Spurwechsel ein Blick in den Innenspiegel auf:

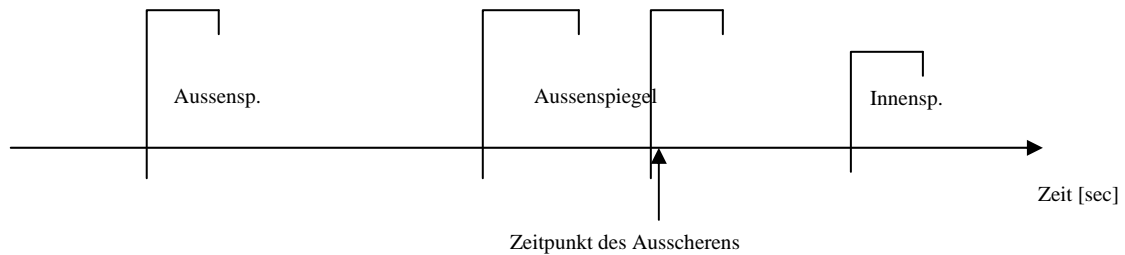


Abbildung 28: Typischer Blickverlauf während eines Ausschervorganges „Aussenspiegeltyp“

- Beim dargestellten „Aussenspiegel-Typ“ treten im Vorfeld des Ausscherens fast ausschließlich Blicke in den Aussenspiegel auf. Diese Sicherungsblicke ersetzen oft, wenn auch nicht notwendigerweise, den Blick über die Schulter.
- Oft sind kurz vor Überschreitung der Spurbegrenzung etwas länger andauernde Aussenspiegelblicke zu beobachten.
- Blicke in den Innenspiegel dienen - sofern überhaupt vorhanden - der Absicherung gegenüber dem sich annähernden Fremdverkehr im Anschluss an den Spurwechsel.

Diese Beobachtungen decken sich weitgehend mit dem Spurwechsel-Verhaltensmodell, wie es in Kapitel 2.4.3 skizziert wurde, und korrespondieren mit den fahrdynamischen Daten. Nach der Entstehung eines Spurwechselwunsches prüft der Fahrer in einer ersten Orientierungsphase die Möglichkeit zum Spurwechsel (beispielsweise durch relativ frühe Innenspiegelblicke). Wenn diese Voraussetzung gegeben ist, wird in einer weiteren Phase der Spurwechsel eingeleitet und dabei nach hinten gesichert. Während der Spurwechseldurchführung ist vor allem bei hohem Verkehrsaufkommen des öfteren ein Sichern zur Seite (toter Winkel) zu beobachten. Nach vollendetem Spurwechsel ist zudem häufig ein Innenspiegelblick zu verzeichnen, um sich zu vergewissern, dass kein nachfolgendes Fahrzeug in gefährlicher Weise behindert wurde.

5.2 Untersuchungsabschnitt 2: Der Einfluss visueller Ablenkung auf das Fahrerverhalten während des Spurwechsels

Im Anschluss an die allgemeine Beschreibung des Sicherungs- sowie Fahrverhaltens im vorhergehenden Kapitel soll nun untersucht werden, wie sich visuelle Ablenkung aufgrund einer Nebentätigkeit im Fahrzeug auf das Sicherungs- sowie Fahrverhalten in den Spurwechselsituationen auswirkt. Auch hier werden wiederum Blickdauern und Blickhäufigkeiten betrachtet sowie die Anzahl der Wechsel zwischen den einzelnen Blickorten (Innen-, Aussenspiegel, Schulterblick).

5.2.1 Verwendete Methoden

Der Einfluss der visuellen Ablenkung während der zeitkritischen Situationen wird im Rahmen derselben Fahrsimulationsuntersuchung aufgegriffen, die bereits in Untersuchungsabschnitt 1 beschrieben wurde. Daher ist der Versuchsaufbau sowie der Versuchsablauf weitgehend mit dieser Untersuchung identisch. Bei der folgenden Beschreibung der Methode sollen daher lediglich diejenigen Teile der Untersuchung näher beschrieben werden, die von Untersuchungsabschnitt 1 abweichen. Hierbei handelt es sich vor allem um die Aufgabenstellung bei der Bearbeitung der Nebenaufgabe.

5.2.1.1 Aufgabenstellung - Nebenaufgabe

Als Nebenaufgabe wird ein Bedienvorgang gewählt, der visuelle Ablenkung induziert und eine alltägliche Tätigkeit im Fahrzeug darstellt – die Auswahl von Bordcomputerfunktionen. Vor der Experimentalfahrt unter Ablenkung wird den Probanden erklärt, wie die Zusatzaufgabe zu bearbeiten ist und dass ihnen nur ein begrenztes Zeitfenster zur Verfügung steht, um diese zu bearbeiten. Durch diese Instruktion soll eine Aufgabebearbeitung im unmittelbaren Vorfeld der Spurwechselsituation forciert werden. Wenn für den Versuchsleiter absehbar ist, dass ein Ausscheren der Versuchsperson unmittelbar bevorsteht, kann er mittels Tastendruck vom Versuchsleiterarbeitsplatz aus einen akustischen Hinweisreiz geben („Bing“ als akustische Ankündigung der Nebenaufgabe), woraufhin im Cockpit unter der Geschwindigkeitsanzeige eine der folgenden Schriftzüge eingeblendet wird: „Navigation“ bzw. „TV“ bzw. „Audio“ bzw. „Klima“. Die Einblendung verschwindet innerhalb von 5 Sekunden, in dieser Zeitspanne muss der Fahrer den Bedienvorgang beginnen.



Abbildung 29: Bordmonitor 5er BMW

Diese Angaben stimmen jeweils mit einer der Auswahloptionen im Bordmonitor-Hauptmenü überein. Die Versuchsperson hat also die Aufgabe, die jeweils im Cockpit angezeigte Menü-Option im Bordmonitor durch Drehen des Dreh-/Druckknopfs auszuwählen und durch Drücken in das jeweilige Untermenü zu wechseln. Wenn sie diese Einstellung korrekt vorgenommen hat, soll sie durch erneutes Drücken und Drehen des Dreh-/Druckknopfs ins Hauptmenü des Bordmonitors zurückkehren. Das Bedienelement ist dabei in unmittelbarer Nähe des Displays angebracht. Diese Aufgabendurchführung wird im Rahmen der Instruktion im stehenden Fahrzeug mit der Versuchsperson solange geübt, bis sichergestellt ist, dass sie einwandfrei verstanden wurde und der Fahrer problemlos damit zurechtkommt.

Diese Nebenaufgabe stellt eine Tätigkeit dar, die im täglichen Straßenverkehr in vergleichbarer Form häufig auftaucht und vor allem visuelle, in zweiter Linie auch motorische Anforderungen mit sich bringt. Da bei der Menüauswahl mittels des Dreh-/Druckknopfs trotz Rasterung leicht über einen Menüpunkt hinausgedreht werden kann, muss der Bedienende sehr sorgfältig bei der Feinjustierung vorgehen. Zur Durchführung dieser Aufgabe im Stand werden in etwa 7 Sekunden benötigt und es müssen die in Tabelle 7 beschriebenen Schritte vorgenommen werden:

Akustischer Hinweis – Anzeige der Menüoption „Klima“ im Cockpit
Ablesen der Information
Suchen des Bedienelements „Dreh-/Druckknopf“ am Bordmonitor
Drehen des Knopfs bis die Menüoption „Klima“ farblich unterlegt ist
Gegebenenfalls Korrektur bei Überdrehen
Bestätigen durch Drücken des Knopfes
Anzeige des Untermenüs „Klima“
Erneutes Drehen des Knopfs bis die Menüoption „Hauptmenü“ farblich unterlegt ist
Gegebenenfalls Korrektur bei Überdrehen
Erneutes Bestätigen durch Drücken des Knopfes
Anzeige des Hauptmenüs

Tabelle 7: Notwendige Schritte bei der Bearbeitung der Zusatzaufgabe

5.2.2 Einfluss visueller Ablenkung auf das Sicherungsverhalten

5.2.2.1 Einfluss der visuellen Ablenkung auf Blickdauer und Blickhäufigkeit

Zunächst soll untersucht werden, wie lange die Fahrer im Mittel für einen Sicherungsblick im Vergleich zwischen den Experimentalbedingungen benötigen, also im Vergleich zwischen der Kontrollbedingung (ohne Nebentätigkeit) und der Fahrt unter Ablenkungswirkung. In der folgenden Abbildung sind für die einzelnen Blickorte (Innenspiegel, Aussenspiegel, Schulterblick) die über alle Versuchspersonen gemittelten Blickdauern [sec] gegenübergestellt:

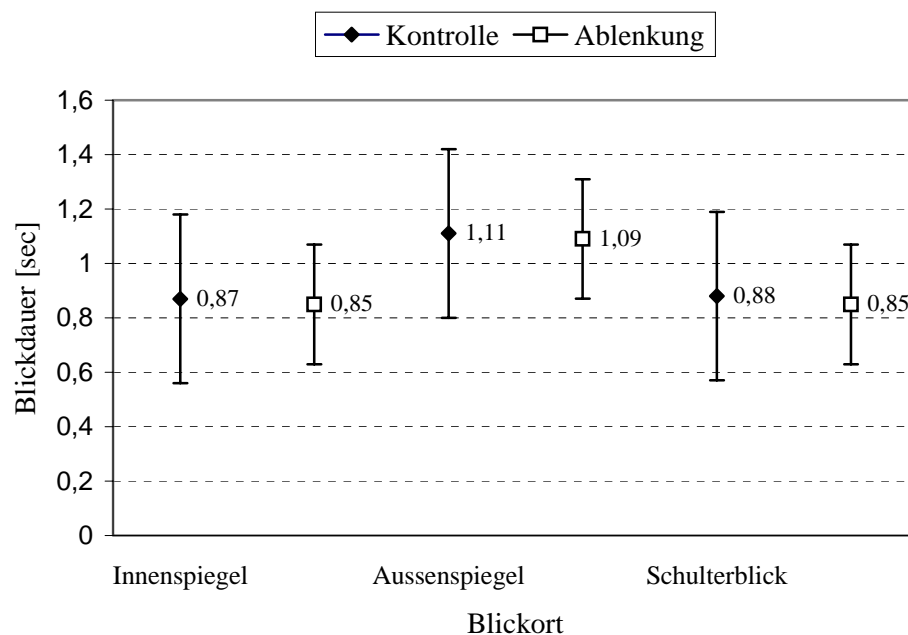


Abbildung 30: Mittlere Blickdauer [sec] getrennt nach Blickort und Experimentalbedingung

Aus Abbildung 30 ist ersichtlich, dass Blicke in den Aussenspiegel im Mittel etwa zwei Zehntelsekunden länger dauern als Blicke in den Innenspiegel oder über die Schulter. Die Experimentalbedingung (Kontrollfahrt vs. Fahrt unter Ablenkungsbedingung) übt jedoch keinen Einfluss auf die mittlere Blickdauer aus. Es sind nahezu identische, mittlere Blickdauern im Vergleich der Experimentalbedingungen zu beobachten.

Eine mehrfaktorielle Varianzanalyse mit Messwiederholung (Faktor 1: Experimentalbedingung; Faktor 2: Blickort) belegt dies: sie zeigt keinen signifikanten Einfluss der Experimentalbedingung auf die mittlere Blickdauer ($F(1,11) = 1.09$; $p = .32$).

In der folgenden Abbildung 31 wird nun dargestellt, wie oft im untersuchten Zeitintervall (-10 bis +8 sec um den Zeitpunkt der Spurüberschreitung) im Mittel Sicherungsblicke die unterschiedlichen Blickorte (Innen-, Aussenspiegel, Schulterblick) betreffend auftreten. Wiederum wird die Blickhäufigkeit über alle Versuchspersonen gemittelt:

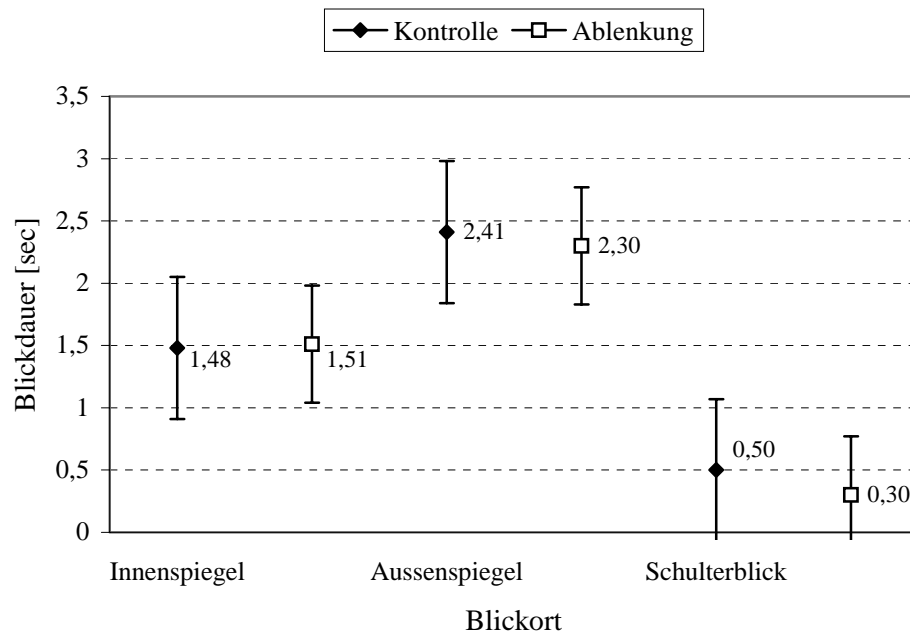


Abbildung 31: Mittlere Blickhäufigkeit pro Ausschervorgang getrennt nach Blickort und Experimentalbedingung

Zunächst ist festzustellen, dass unabhängig von der Experimentalbedingung im Mittel etwa 50% mehr Blicke in den Aussenspiegel im Vergleich zu Blicken in den Innenspiegel auftreten.

Darüberhinaus zeigt Abbildung 31, dass bei Fahrten unter Ablenkungsbedingung etwas seltener Blicke in den Aussenspiegel und dafür geringfügig häufiger Blicke in den Innenspiegel zu beobachten sind als bei der Kontrollfahrt. Eine mehrfaktorielle Varianzanalyse mit Messwiederholung zeigt einen hoch signifikanten Einfluss des Blickortes auf den Mittelwert ($F(2,10) = 90.83; p < .01$) und ebenfalls einen signifikanten Einfluss der Experimentalbedingung ($F(1,11) = 7.57; p < .05$).

Auffällig ist zudem die etwas seltenere Nutzung des Schulterblicks im Falle der Fahrten unter der Ablenkungsbedingung (0.5 gegenüber 0.3). Da jedoch nur jede zweite Fahrer überhaupt Schulterblicke zeigt, kann hier nur eine Tendenz ausgemacht werden.

5.2.2.2 Einfluss der visuellen Ablenkung auf die Häufigkeit des Wechsels zwischen den Informationsquellen

Heinze (1977) wies für den Fall der Flugzeugführung bei steigender Belastung der Piloten eine Verringerung der Wechselhäufigkeit zwischen den zur Verfügung stehenden Informationsquellen nach. Nun soll auch für den Fall der zeitkritischen Fahrsituationen überprüft werden, ob die Fahrer unter Ablenkung seltener zwischen den einzelnen Informationsquellen (Innenspiegel, Aussenspiegel, Schulterblick) wechseln.

Zu diesem Zweck wird in der folgenden Abbildung für die beiden Experimentalbedingungen dargestellt, wieviele Blickzuwendungen insgesamt während aller Spurwechselvorgänge der 12 Probanden auftraten und wie oft die Fahrer dabei die Blickorte (Innenspiegel, Aussenspiegel, Schulterblick) gewechselt haben:

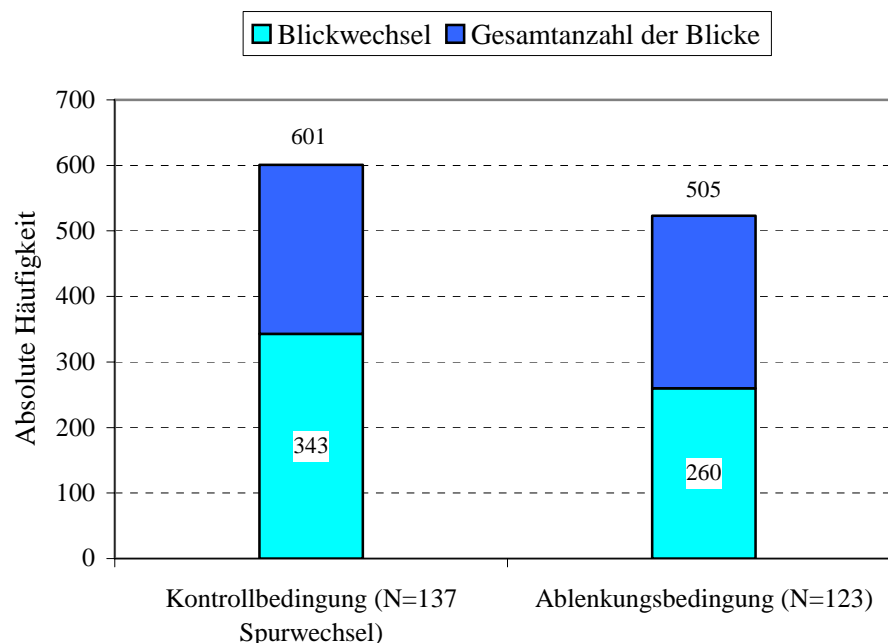


Abbildung 32: Anzahl der Wechsel zwischen den Informationsquellen im Verhältnis zur Gesamtanzahl getätigter Sicherungsblicke

Die Abbildung zeigt, dass in der Kontrollbedingung anteilmäßig mehr Wechsel zwischen den Informationsquellen zu beobachten sind (57% gegenüber 51%). Während in der Kontrollbedingung im Mittel 2.50 Blickwechsel pro Ausschervorgang festzustellen sind, sind dies in der Ablenkungsbedingung nur 2.11. Dieser Unterschied erweist sich bei varianzanalytischer Überprüfung als signifikant ($F(1,11) = 32.14$; $p < .01$). Somit führt also die Ablenkung dazu, dass seltener zwischen den Informationsquellen hin und hergewechselt wird, das Blickverhalten beim Sichern erweist sich als träger.

5.2.2.3 Zusammenfassung der Ergebnisse

Im vorliegenden Kapitel dieser Arbeit wird das Sicherungs- sowie das Fahrverhalten während des Spurwechselmanövers mit und ohne gleichzeitige, ablenkende Nebentätigkeit untersucht und verglichen. Nachfolgend werden die wichtigsten Ergebnisse dieser Analyse nochmals zusammenfassend dargestellt.

- Blickdauer

Bei der Betrachtung der durchschnittlichen Blickdauer gibt es nur sehr geringe Unterschiede zwischen den Experimentalbedingungen (Kontrollfahrt vs. Fahrt unter Ablenkung). Hier sind also kaum Hinweise darauf zu finden, dass die induzierte visuelle Ablenkung durch Bedienung des Bordmonitors zu einer gefährlichen Veränderung bzw. Vernachlässigung des Sicherungsverhaltens führt.

Im Falle des Schulterblicks ist für einige Fahrer eine Verringerung der Nutzungshäufigkeit unter Ablenkungswirkung zu beobachten. Allerdings wendet nur die Hälfte der Fahrer bei einem Teil der Ausschervorgänge einen Schulterblick an, was zu einer so geringen Stichprobengröße führt, dass in diesem Zusammenhang keine verlässliche statistische Aussage getroffen werden kann.

- Wechselhäufigkeit zwischen den Informationsquellen

Einen deutlicheren Effekt zeigt die Analyse der Wechsel zwischen den einzelnen Informationsquellen Innenspiegel, Aussenspiegel und Schulterblick. Hier erweist es sich, dass in der Ablenkungsbedingung signifikant seltener Wechsel zwischen den einzelnen Blickorten auftreten. Die erhöhte Informationslast führt also ähnlich wie bei Heinzes Untersuchung in der Luftfahrt (Heinze, 1977) zu einer Reduktion der Wechselhäufigkeit zwischen den Anzeigen, das Sicherungsverhalten kann als träger bezeichnet werden. Somit kommt es zu einer Veränderung der Informationsaufnahme während des zeitkritischen Manövers.

- Verschiebung des Orts der Aufmerksamkeit

Durch die Bearbeitung der Zusatzaufgabe im Bereich des Bordmonitors könnte es sich zeigen, dass die Aufmerksamkeit des Fahrers stärker in der Mitte des Fahrzeugs gebunden ist und weniger Aussenspiegel- bzw. Schulterblicke zu beobachten sind. Diese Verschiebung des Ortes der Aufmerksamkeit hin zum Innenspiegel sollte bei der Auszählung der jeweiligen Sicherungsblicke zum Vorschein treten.

Die Ergebnisse der Auszählung der mittleren Blickhäufigkeiten zeigt eine leichte Verschiebung des Ortes der Aufmerksamkeit hin zum Innenspiegel, der sich bei varianzanalytischer Testung als signifikant erweist. Bei der Betrachtung des Blickverhaltens der einzelnen Fahrer (vgl. Kap. 5.1.2 und Anhang A) kann jedoch nur für drei der Probanden (Versuchsperson 01, 05, 07) diese Tendenz hin zum Innenspiegel eindeutig beobachtet werden.

– Zeitpunkt des Einsetzens des Sicherungsverhaltens

Durch die Einstelltätigkeiten am Bordmonitor erfährt der Fahrer eine zusätzliche visuelle Ablenkung, die dazu führen könnte, dass er erst zu einem späteren Zeitpunkt mit seiner Sicherungstätigkeit beginnt. Aus diesem Grund wird anhand der erhobenen Blickdaten geprüft werden, ob bei Fahrten unter Ablenkung der Beginn der Sicherungsaktivität näher an den Zeitpunkt des Ausscherens rückt.

Bei einigen Fahrern - in relativ deutlicher Form bei Versuchsperson 01 und 11, in abgeschwächter Form bei Versuchsperson 02, 04 und 12 (vgl. Kap. 5.1.2 und Anhang A) - kann durchaus beobachtet werden, dass sich bei Fahrten unter Ablenkungswirkung ein mehrgipfliges Profil der Sicherungsaktivität zu einem eingipfligen verändert. Die betreffenden Fahrer stellen zunächst ihr Sicherungsverhalten ein und nutzen erst wieder die Spiegel, wenn die Auswirkung der Ablenkung beendet ist.

Die erhobenen Blickdaten (Sicherungsblicke in Aussen- und Innenspiegel sowie Schulterblick) belegen somit, dass es bei einigen Fahrern zu einer Veränderung des Sicherungsverhaltens kommen kann, die jedoch stark abhängig von der individuellen Blickstrategie ist.

5.2.3 Einfluss visueller Ablenkung auf das Fahrverhalten beim Spurwechsel

Nachdem im vorangegangenen Kapitel der Einfluss der Ablenkung auf das Sicherungsverhalten während des Spurwechselforgangs beschrieben wurde, soll nun das Fahrverhalten einer detaillierten Analyse unterzogen werden. Hierzu werden während des Spurwechselforganges - also im Zeitraum von -10 bis +8 Sekunden um den Zeitpunkt des Erreichens der Spurberandung - die Ausgangsgeschwindigkeit, die Lenktätigkeit sowie die Spurhaltung erhoben.

5.2.3.1 Geschwindigkeit bei Beginn des Spurwechsels

Den Probanden wird mittels Instruktion eine „Richtgeschwindigkeit“ von 120 km/h vorgegeben, im Zuge von Überholmanövern haben sie jedoch die Möglichkeit, diese an die Gegebenheiten der Verkehrssituation anzupassen. Zunächst soll untersucht werden, bei welcher Ausgangsgeschwindigkeit die Spurwechsel begonnen werden. Zu diesem Zweck wird in der folgenden Abbildung die Geschwindigkeit zum Zeitpunkt des Erreichens der Spurberandung („Nullpunkt“) für die beiden Experimentalbedingungen vergleichend gegenübergestellt. Dabei werden die aufgetretenen Geschwindigkeiten in Klassen zusammengefasst, so dass sich die folgende Verteilung ergibt:

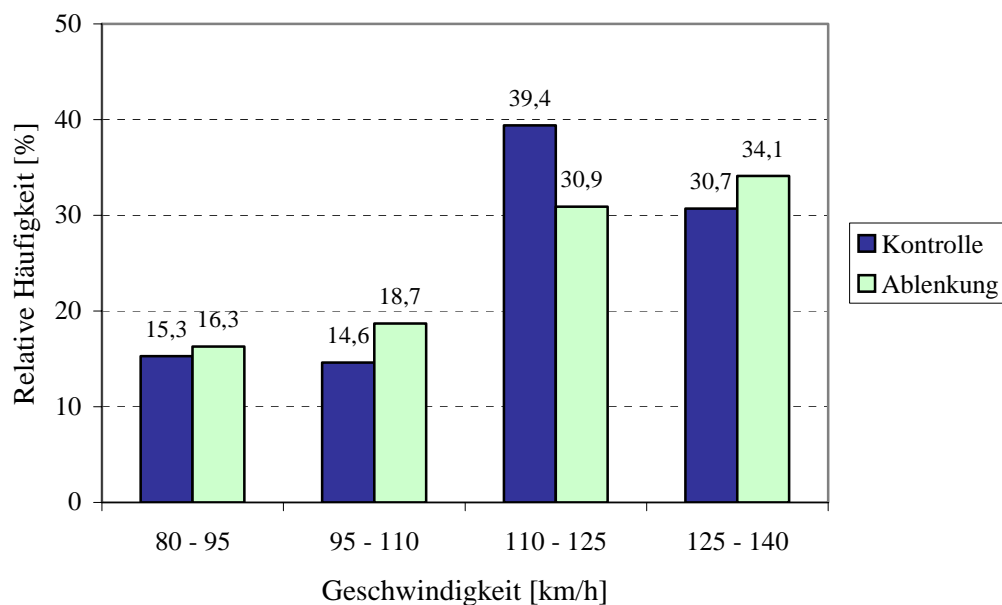


Abbildung 33: Verteilung der Ausgangsgeschwindigkeiten bei Beginn des Spurwechsels im Vergleich zwischen den Experimentalbedingungen

Die Einteilung der Ausgangsgeschwindigkeiten bei Beginn des Spurwechsels in Klassen zeigt, dass während der Kontrollfahrten vor allem im Bereich einer Geschwindigkeit von 110 bis 125 km/h mehr Ausschervorgänge auftreten. Allerdings kann aufgrund der dargestellten Verteilung nicht darauf geschlossen werden, dass sich die Experimentalbedingungen hinsichtlich der Ausgangsgeschwindigkeit voneinander unterscheiden.

5.2.3.2 Lenkverhalten während des Spurwechsels

Van Winsum (1999) unterscheidet als Ergebnis seiner Simulationsuntersuchung drei aufeinanderfolgende Phasen des Spurwechsels: In einer ersten Phase erreicht der Lenk-

ausschlag ein Maximum, woraufhin das Lenkrad wiederum in die entgegengesetzte Richtung eingeschlagen wird. Die zweite Phase endet, wenn sich das Fahrzeug maximal versetzt zur Fahrtrichtung bewegt, was im Normalfall mit dem Umkehrpunkt des Lenkradwinkels bei Null Grad gleichzusetzen ist. In der dritten Phase wird das Fahrzeug in der Zielfahrspur stabilisiert, indem ein zweites Lenkradwinkelmaximum mit entgegengesetztem Vorzeichen erreicht wird.

Diese Systematik soll nun mittels der in der vorliegenden Untersuchung gesammelten Daten verifiziert werden und es soll zudem untersucht werden, ob es unter Ablenkungsbedingungen zu Abweichungen kommt. In den folgenden beiden Abbildungen wird der durchschnittliche Lenkwinkel zwischen der Kontrollbedingung und der Ablenkungsbedingung über alle aufgetretenen Spurwechselvorgänge verglichen.

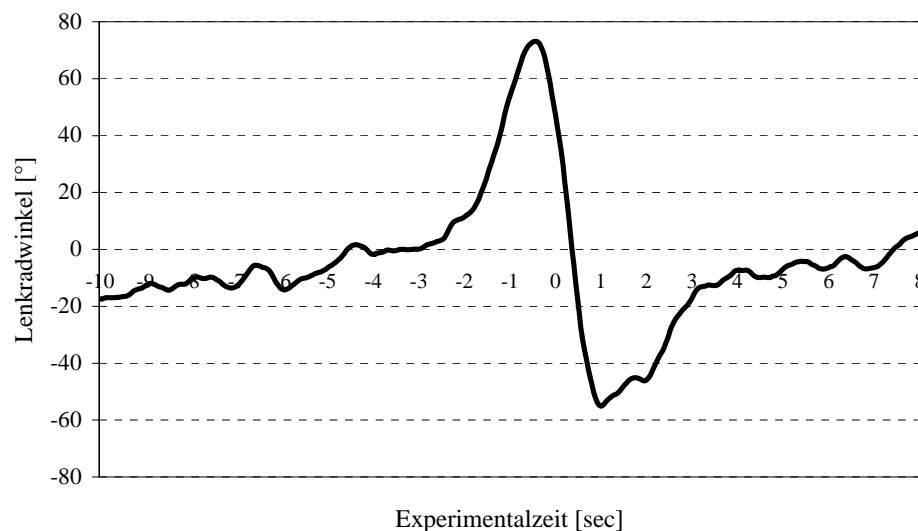


Abbildung 34: Mittlerer Lenkradwinkel über alle Versuchspersonen während des Spurwechsels (Kontrollbedingung; $N=137$ Spurwechsel)

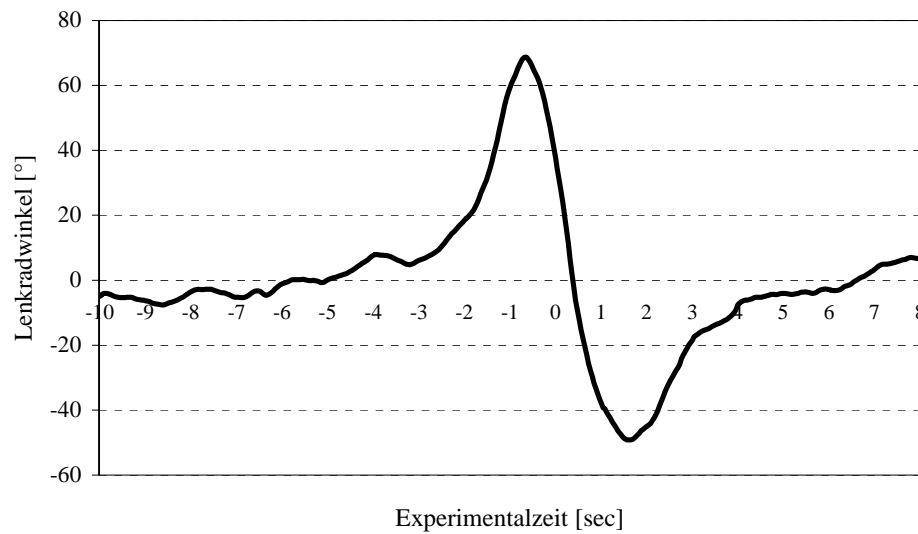


Abbildung 35: Mittlerer Lenkradwinkel über alle Versuchspersonen während des Spurwechsels (Ablenkungsbedingung; $N=123$ Spurwechsel)

Anhand der vorliegenden Daten lassen sich die Ergebnisse von van Winsum (1999) reproduzieren: auch in der vorliegenden Untersuchung erfolgt zunächst ein Lenkeinschlag nach links bis ein Maximalwert erreicht wird (Phase 1). Daraufhin wird in die entgegengesetzte Richtung gelenkt bis sich das Fahrzeug maximal versetzt zur Fahrtrichtung bewegt (Phase 2). Der Schnittpunkt der Nulllinie stellt den Beginn der dritten Phase dar, in der das Fahrzeug in der Zielfahrspur stabilisiert werden muss. Hier wird ein erneutes Maximum mit negativem Vorzeichen erreicht.

Der Vergleich zwischen Kontroll- und Ablenkungsbedingung zeigt keinerlei Unterschiede hinsichtlich des über alle Versuchspersonen gemittelten Verlaufs des Lenkradwinkels.

5.2.3.3 Spurhaltung während des Spurwechsels

Nach dem Lenkverhalten soll nun auch die Spurhaltung während des Spurwechsels genauer analysiert werden. Dazu wird in der folgenden Abbildung 36 der über alle Versuchspersonen gemittelte Randabstand zum rechten Fahrbahnrand dargestellt. Auch hier bildet der Nullpunkt der x-Achse den Zeitpunkt, an dem das Fahrzeug im Verlauf des Spurwechsels die Spurberandung erreicht:

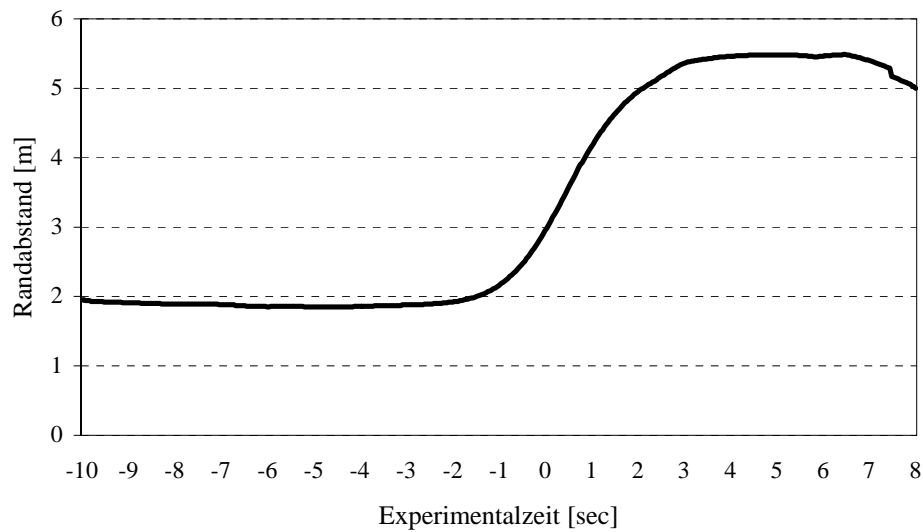


Abbildung 36: Abstand zum rechten Fahrbahnrand über alle Versuchspersonen während des Spurwechsels (Kontrollbedingung; $N=137$ Spurwechsel)

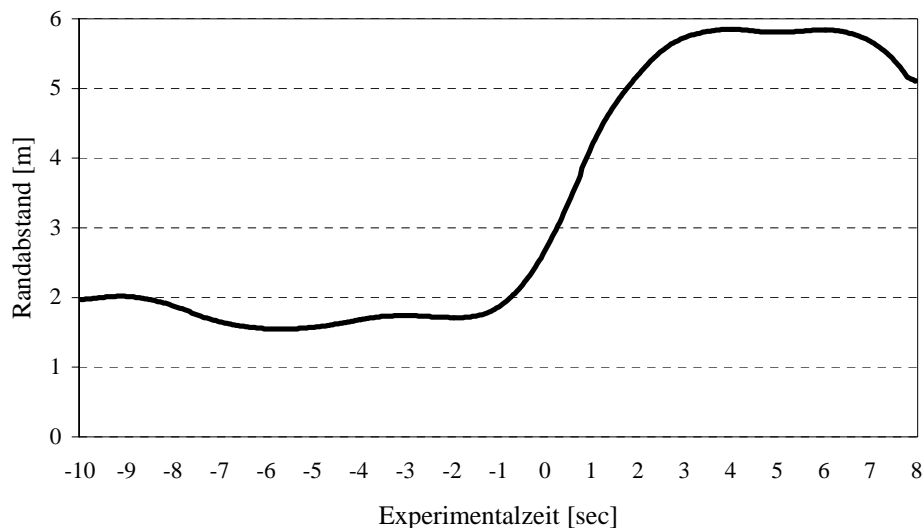


Abbildung 37: Abstand zum rechten Fahrbahnrand gemittelt über alle Versuchspersonen während des Spurwechsels (Ablenkungsbedingung; $N=123$ Spurwechsel)

Die Verläufe zeigen für die beiden Bedingungen einen ähnlichen Verlauf. Ein Randabstand von in etwa drei Meter markiert den Zeitpunkt, an dem das Fahrzeug die Spurbegrenzung erreicht. Nach ungefähr drei Sekunden ist die Zielspur erreicht und das Fahrzeug wird dort stabilisiert (bei einem Randabstand von ca. sechs Meter). Im unmittelbaren Vorfeld des Ausscherens kann für beide Bedingungen eine leichte Annäherung an den rechten Fahrbahnrand beobachtet werden, der Randabstand variiert hier im Falle der Ablenkungsbedingung etwas stärker.

5.2.3.4 Anzahl abgebrochener Spurwechsel

An dieser Stelle soll ausgezählt werden, wie oft es im Vergleich zwischen Kontrollfahrt und Ablenkungsbedingung zu einem Abbruch des Spurwechselmanövers kommt. Es wird die Hypothese geprüft, ob bei Fahrten unter visueller Ablenkungswirkung aufgrund möglicherweise unzureichender Sicherungsaktivität mehr abgebrochene Spurwechselvorgänge zu verzeichnen sind als bei der Kontrollfahrt.

Zu diesem Zweck wird eine Vorgehensweise gewählt, die auch in der Untersuchung zur Spurwechselassistentz (Praxenthaler, 2000) zur Anwendung kam: Es werden alle Fahrtabschnitte untersucht, während derer eine Spurwechselsabsicht des Fahrers diagnostiziert wird (errechnet anhand der Time-to-Linecrossing und der Blinkerbetätigung; siehe auch Kap. 5.1.1.5) und anhand des Randabstands geprüft, ob in der Folgezeit wirklich ein Spurwechselvorgang vollzogen wird. Eine Spurwechselabsicht liegt definitionsgemäß dann vor, wenn entweder vom Fahrer der Blinker gesetzt wird oder sich das Fahrzeug schnell an die Spurberandung annähert. Gleichzeitig wird mittels eines Risikomaßes (errechnet aus Zeitlücke und Time-to-Collision; vgl. Kap. 5.1.1.5) sichergestellt, dass der Abbruch auf ein sich auf der Zielspur annäherndes Fahrzeug zurückzuführen ist.

Um einen Spurwechsel im Sinne der Fragestellung als abgebrochen klassifizieren zu können, müssen also folgende Voraussetzungen gegeben sein:

- der Fahrer zeigt eine Spurwechselabsicht (Lenkeinschlag und/oder Blinkerbetätigung)
- es befindet sich ein sich annäherndes Fremdfahrzeug auf der Zielspur (das Spurwechselrisiko ist ungleich 0)
- der Fahrer erreicht nicht die Zielspur, sondern muss zurückwechseln (ersichtlich anhand des Verlaufs des Randabstands)

Bei der Anwendung der beschriebenen Vorgehensweise zeigt es sich, dass nur ein geringer Anteil der Spurwechselvorgänge durch die Fahrer abgebrochen werden muss. Dies verdeutlicht, wie schwierig es trotz gezielter Steuerung der Fremdfahrzeuge in der Simulation ist, Konflikte beim Spurwechsel zu provozieren.

In der folgenden Tabelle ist dargestellt, wie oft der Spurwechsel im Verhältnis zur Gesamtzahl an durchgeführten Spurwechseln abgebrochen wurde:

Experimentalbedingung	Anzahl abgebrochener Spurwechsel	Prozentualer Anteil
Kontrollfahrt	13 von 137	.09
Fahrt unter Ablenkung	15 von 123	.12

Tabelle 8: Häufigkeit abgebrochener Spurwechsel im Vergleich der Experimentalbedingungen

Die Tabelle zeigt, dass es in der Ablenkungsbedingung geringfügig häufiger zu einem Abbruch des Spurwechselmanövers kommt. Bei varianzanalytischer Überprüfung erweist sich der Unterschied jedoch als nicht signifikant ($F(1,11) = 1.58; p = .38$).

5.2.3.5 Akzeptiertes Risiko zum Zeitpunkt des Ausscherens

Nun wird das Risiko beim Spurwechsel zum Zeitpunkt des Ausscherens betrachtet und geprüft, ob von den Fahrern in der Ablenkungsbedingung ein im Mittel höheres oder aber auch geringeres Risiko beim Einleiten des Ausschervorganges eingegangen wird.

Dabei wird eine im MoTiV-Projekt „Abbiege- und Spurwechselassistenten“ entwickelte Vorgehensweise angewandt: Das Fahrzeug, das sich auf der Zielfahrspur von hinten annähert, wird als relevant definiert. Das Spurwechsel-Risiko wird anhand der Zeitlücke und der TTC (Time-to-Collision) zu diesem sich annähernden Fahrzeug auf der Zielspur ermittelt. Die Zeitlücke wird dabei anhand der Eigengeschwindigkeit und der Time-to-Collision berechnet:

$$\text{Zeitlücke} = \text{Abstand} / \text{Eigengeschwindigkeit}$$

Das Risiko wird als proportional zu den Kehrwerten von Zeitlücke und TTC angenommen und mit Proportionalitätsfaktoren linear überlagert. Je kleiner die TTC und die Zeitlücke, desto größer ist das Risiko:

$$\text{Risiko} = \text{Faktor Zeitlücke} / \text{Zeitlücke} + \text{Faktor TTC} / \text{TTC}$$

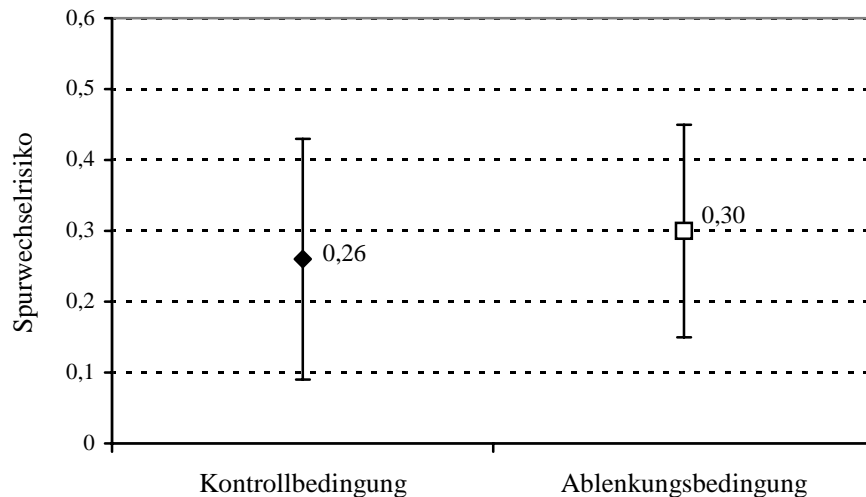


Abbildung 38: Mittleres Spurwechselrisiko (+/- 1 Stdabw) bei Spurwechsel nach links zum Zeitpunkt des Erreichens der Spurbegrenzung

Abbildung 38 zeigt einen leicht erhöhten Risikowert für die Ablenkungsbedingung im Vergleich zur Kontrollfahrt. In der Ablenkungsbedingung wird also im Mittel von den Fahrern ein etwas höheres Risiko beim Ausscheren akzeptiert. Allerdings sollte berücksichtigt werden, dass in dem genannten Zusammenhang große interindividuelle Unterschiede zu beobachten sind.

In der folgenden Tabelle wird das Risiko beim Spurwechsel zum Zeitpunkt des Ausscherens zwischen Kontroll- und Ablenkungsbedingung nochmals vergleichend dargestellt und in Klassen zusammengefasst. Interessant sind dabei vor allem die Ausschervorgänge bei relativ hohem Risiko (> 0.5).

Experimentalbedingung	Risiko < 0.2	$0.2 \leq \text{Risiko} \leq 0.5$	Risiko > 0.5
Kontrollfahrt (N=137)	83 (61%)	40 (29%)	14 (10%)
Fahrt unter Ablenkung (N=123)	62 (50%)	42 (34%)	19 (15%)

Tabelle 9: Anzahl der Ausschervorgänge bei definiertem Risiko im Vergleich zwischen den Experimentalbedingungen

Aus der Abbildung 38 und der Zellenbesetzung bei hohem Risiko (> 0.5) in Tabelle 9 kann eine Tendenz dahingehend abgelesen werden, dass die Ablenkungsbedingung zu einer leicht erhöhten Anzahl riskanter Ausschervorgänge führt. Allerdings treten allgemein nur relativ wenige Spurwechsel bei erhöhtem Risiko auf. Eine Überprüfung der

Mittelwertsunterschiede mittels einer Varianzanalyse mit Messwiederholung ergibt keinen signifikanten Einfluss der Variante auf das akzeptierte Risiko ($F = 1.74$; $p = .29$).

5.2.3.6 Abstand und Time-to-Collision zum Zeitpunkt des Ausscherens

Nach der Analyse des Risikos zum Zeitpunkt des Ausscherens soll nun der Abstand zum sich von hinten annähernden Fremdverkehr auf der Zielspur (TTC - Time-to-Collision) sowie die Zeitlücke [sec] betrachtet werden. Anhand dieser Werte kann abgeschätzt werden, welche Verzögerung dem sich nähernden Fremdfahrzeug auf der Zielspur durch das Ausscheren der Versuchsperson zugemutet wird.

Im folgenden ist zunächst die Verteilung der TTC zum Zeitpunkt des Erreichens der Spurbegrenzung dargestellt. Dabei wird eine Einteilung in drei unterschiedliche Cluster vorgenommen (Cluster 1: $TTC < 10$ sec; Cluster 2: $TTC < 5$ sec; Cluster 3: $TTC < 2$ sec):

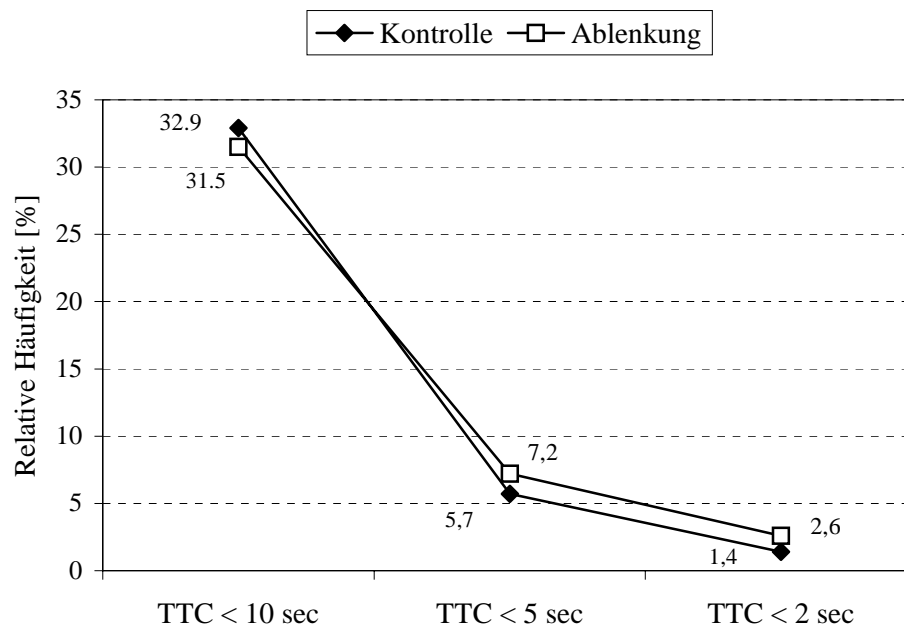


Abbildung 39: TTC bei Spurwechsel nach links zum Zeitpunkt des Erreichens der Spurbegrenzung

Abbildung 39 zeigt, dass in der Ablenkungsbedingung tendenziell etwas mehr Ausschervorgänge bei geringer Time-to-Collision auftreten. Somit ist auch aus diesem Ergebnis ein Hinweis darauf abzuleiten, dass in der Kontrollfahrt zu einem vorsichtigeren Verhalten beim Ausscheren kommt und potentiell gefährliche Spurwechselmanöver frühzeitig aufgeschoben werden. Allerdings zeigt auch diese Verteilung, dass in der vorliegenden Untersuchung relativ selten Ausschervorgänge bei hohem Risiko beobachtet werden konnten.

5.2.3.7 Zusammenfassung der Ergebnisse

In dem vorliegenden Kapitel wird untersucht, wie sich visuelle Ablenkung aufgrund einer Nebentätigkeit im Fahrzeug auf das Fahrverhalten in zeitkritischen Situationen – hier speziell während des Spurwechsels – auswirkt.

Die Datenanalyse zeigt die Schwierigkeit dieser Aufgabenstellung: Es erweist sich, dass es nur selten zu Konflikten mit Fremdfahrzeugen beim Ausscheren kommt. Obwohl versucht wurde, durch Eingreifen des Versuchsleiters (Beschleunigung des nachfolgenden Fahrzeugs) derartige Situationen zu forcieren, vermeiden die Probanden in den meisten Fällen erfolgreich kritische Interaktionen. Dies spricht einerseits für die Realitätsnähe der Fahrsimulation, es kann jedoch andererseits - trotz der Möglichkeiten der Fahrsimulation - keine ausreichend große Datengrundlage für eine statistisch belastbare Untersuchung der Ablenkungswirkung während derart beanspruchender Manöver geschaffen werden.

Dennoch liefern die fahrdynamischen Daten einige wichtige Hinweise bei der Suche nach geeigneten Maßen zum Nachweis von Ablenkungswirkungen in zeitkritischen Situationen. So sind Tendenzen zu beobachten, dass bei Fahrten unter visueller Ablenkungswirkung aufgrund möglicherweise unzureichender Sicherheitsaktivität mehr abgebrochene Spurwechselforgänge auftreten als bei der Kontrollfahrt. Darüberhinaus erscheint das Konzept, ein Risikomaß zu berechnen, das die Time-to-Collision zu dem sich von hinten annähernden Fahrzeug auf der Zielspur mit einbezieht, als erfolgsversprechend für die Bewertung der Ausschervorgänge zu sein. Demgegenüber konnten in der vorliegenden Untersuchung keine Auswirkungen der induzierten Ablenkung auf das Lenk- bzw. Bahnführungsverhalten der Versuchspersonen nachgewiesen werden. Hier müsste unter Umständen auf Einzelfallanalysen zurückgegriffen werden.

5.3 Untersuchungsabschnitt 3: Zur Unterbrechbarkeit von Bedienvorgängen während zeitkritischer Fahrsituationen

Im dritten Untersuchungsabschnitt dieser Arbeit wird zwischen einer Ablenkungsbedingung (beispielsweise wird der Fahrer angerufen bzw. vom Versuchsleiter in einem Telefongespräch abgelenkt) und einer Abwendungsbedingung (der Fahrer kann sich selbst der Nebenaufgabe zuwenden, sofern die Verkehrssituation dies zulässt) unterschieden. Die Ergebnisse dieses Teils der Untersuchung sollen Aufschluss darüber geben, wann und wie oft sich die Fahrer während komplexer Fahrsituationen der Nebenaufgabe zuwenden und wie die Nebenaufgabe beschaffen sein muss, um ein problemloses Unterbrechen und Wiederaufnehmen der Zusatzaufgabe zu gewährleisten. In diesem Zusammenhang stellt sich also die Frage, ob Fahrer ein entsprechendes Angebot überhaupt nutzen, also den Bedienvorgang während der Fahrt unterbrechen, wenn dies die Verkehrssituation erfordert. Dabei werden als Methoden die detaillierte Auswertung des Blick- und Bedienverhaltens sowie die Analyse der fahrdynamischen Daten angewandt.

5.3.1 Verwendete Methoden

5.3.1.1 Versuchsaufbau

Auch diese Untersuchung wird am Fahrsimulator der BMW AG München durchgeführt, der bereits in Kapitel 5.1.1 ausführlich beschrieben wurde. Die Steuerung des Fahrsimulators wird von einer Silicon Graphics Workstation übernommen, welche die Fahrdynamik und die Grafikdaten für die Aussenansicht berechnet. Zudem steuert sie die Fahrzeuginstrumentierung, registriert die Fahrdaten und generiert die Fahrgeräusche. Das Lenkmoment am Simulatorfahrzeug wird von einem Elektromotor erzeugt, der mit der Lenksäule verbunden ist.

Das Simulatorfahrzeug (BMW 3er Cabrio) befindet sich in einem abgedunkelten Raum, frontal vor dem Fahrzeug befindet sich eine ca. 12 mal 2.25 Meter große Leinwand. Die Projektion erlaubt eine 190°-Rundumsicht, die den Fahrer bei der Geschwindigkeitswahrnehmung unterstützt und die Darstellung von Überhol- bzw. Einfädelmanövern zulässt. Das Bild für die Aussenansicht wird von Großbildprojektoren erzeugt, die an der Decke über dem Fahrzeug installiert sind. Den Fahrern steht zudem eine Rückansicht (Rück- bzw. Innenspiegel) zur Verfügung. Sie werden vor den Fahrten darauf hin-

5.3.1.2 Beschreibung der Experimentalfahrten

In der Simulation ist es nicht möglich, Verkehrskonstellationen derart zu generieren, dass die Versuchsperson ein Fremdfahrzeug überholt und in diesem Augenblick in Abhängigkeit von dem Überholmanöver ein weiteres Fremdfahrzeug entgegenkommt. Somit kann die klassische zeitkritische Fahrsituation „Überholen bei Gegenverkehr“ nicht dargestellt werden. Die in der unten beschriebenen Fahrt implementierten Situationen enthalten in ihrer Mehrzahl kein derartiges Zeitfenster, fordern jedoch vom Fahrer unter Zeitdruck eine Entscheidung ab, nämlich ob er das Manöver (Überholen) einleitet oder aber das Manöver abbricht bzw. aufschiebt.

- Einfädeln an Autobahnauffahrt

Die Versuchsperson fährt ca. drei Minuten nach Fahrtbeginn auf die Autobahn auf und muss in eine vorbeifahrende Kolonne einfädeln. Diese besteht aus 10 Fahrzeugen (da nur bei einer relativ großen Anzahl von Fahrzeugen individuell unterschiedliches Fahrerverhalten abgefangen werden kann) und wird automatisch gestartet, wenn der Fahrer einen bestimmten Luftlinienabstand zur Kolonne unterschritten hat. Die Kolonne fährt an der ersten Ausfahrt wieder von der Autobahn ab. Diese Situation ereignet sich während der Experimentalfahrt zweimal.

- Überholen eines langsamen Fahrzeuges

Nach einer langgezogenen Rechtskurve befindet sich auf dem rechten Fahrstreifen ein langsam fahrendes Fahrzeug (ca. 60 km/h). Die Versuchsperson muss in freier Fahrt überholen bzw. abbremsen.

- Auffahren von Fremdfahrzeugen auf die Autobahn

Eine kleine Fahrzeugkolonne (vier Fahrzeuge) setzt den Blinker und biegt vom Beschleunigungsstreifen (Rastplatz bzw. normale Auffahrt) auf die Autobahn ein. Die Versuchsperson hat die Optionen abzubremsen oder auf den linken Fahrstreifen zu wechseln. Diese Situation ereignet sich während der Experimentalfahrt ebenfalls zweimal.

- Spurwechsel aufgrund eines stehenden Hindernisses

Auf dem rechten Fahrstreifen befindet sich ein liegengebliebenes Fahrzeug mit aktivierter Warnblinkanlage. Die Versuchsperson muss ausweichen, jedoch schnell wieder auf den rechten Fahrstreifen zurückwechseln, da sich etwas weiter hinten die Fahrbahn auf eine Fahrspur verengt.

Die Experimentalfahrten bestehen also aus mehreren, durch die Simulation „getriggerten“ zeitkritischen Situationen. Die Instruktion für die Bedientätigkeiten wird durch den Versuchsleiter jeweils so gegeben, dass die Aufgabenbearbeitung mit dem Durchfahren der Situation zusammenfällt - der Versuchsleiter versucht also gezielt zu erreichen, dass der Zeitraum des Bedienvorganges in den Zeitraum des Auftretens des zeitkritischen Manövers fällt.

Neben diesen „zeitkritischen“ Fahrsituationen werden auch zwei Kontrollbedingungen in die Untersuchung integriert, die sich hinsichtlich der Anforderungen an den Fahrer voneinander unterscheiden:

- Freie Fahrt (Kontrollbedingung 1)

Im Anschluss an das Durchfahren der oben beschriebenen zeitkritischen Fahrsituationen schließt sich für die Probanden ein ca. sechs Minuten dauernder Abschnitt mit ungestörter Fahrt auf einer unbefahrenen geraden Autobahn an. Auch hier werden die Fahrer vom Versuchsleiter angerufen und müssen sowohl eine Frequenzeingabe vornehmen als auch einen Anruf tätigen.

- Nachfolgefahrt (Kontrollbedingung 2)

Bei diesem Teil der Untersuchung fährt die Versuchsperson auf einer wenig befahrenen Autobahn hinter einem vorausfahrenden PKW her. Dieser PKW variiert in relativ großen zeitlichen Intervallen seine Geschwindigkeit zwischen 80 und 120 km/h.

Die Versuchsperson soll in einem für sie sicheren Abstand dem Vorausfahrenden folgen, Geschwindigkeitsveränderungen mitmachen und dabei die ihr gestellten Aufgaben (Frequenzeingabe und Anruf tätigen) bearbeiten. Sie wird dabei von keinen weiteren Fremdfahrzeugen behindert.

5.3.1.3 Aufgabenstellung

Die Fahrer haben während der Fahrt mehrere Aufgaben zu bearbeiten, die sich in ihrer Komplexität und in der Art der Aufgabe (Ablenkung vs. Abwendung) unterscheiden.

- In der Ablenkungsbedingung wird der Fahrer gezielt bei der Fahraufgabe durch einen Anruf gestört und kann nicht selbst den Zeitpunkt der Bearbeitung wählen. Dies wird dadurch forciert, dass der Versuchsperson vorab mitgeteilt wird, dass der Anrufer bei eingehenden Anrufen nur drei Mal klingeln lässt. Danach ist der Anruf verlo-

ren. Der Fahrer muss den Anruf also innerhalb einer bestimmten Zeit durch Drücken der blauen Telefon-Taste entgegennehmen.

Darüberhinaus wird der Fahrer während der Fahrt in ein Gespräch verwickelt, bei der er eine Frage zur Bedienung des Radiophons beantworten muss („Bitte erläutern sie, wie Sie nun vorgehen müssten, wenn Sie einen Anruf tätigen wollen.“). Auch dies kann als Ablenkungsbedingung gewertet werden, da die Versuchspersonen sozialem Druck ausgesetzt sind, rasch eine Erläuterung abzugeben. Hier ist jedoch keinerlei visuelle Anforderung gegeben.

- In der Abwendungsbedingung können die Fahrer den Zeitpunkt der Bearbeitung wählen. Ausserdem wird ihnen vor der Fahrt deutlich gemacht, dass sie jederzeit die Aufgabenbearbeitung unterbrechen können, wenn dies die Verkehrssituation erfordert. Die Versuchspersonen werden vor zwei unterschiedliche Aufgaben gestellt:

Zum einen sollen sie die Zeitansage der Deutschen Telekom (01191) anrufen und sich die angesagte Zeit in Stunden und Minuten merken:

- (1) Drücken der blauen Telefontaste (Wechseln in Telefon-Modus)
- (2) Eingabe der 5-stelligen Nummer über Zahlenblock (01191)
- (3) Drücken der blauen Telefon-Taste (Wählen)

Diese Aufgabe kann also in drei Blöcke unterteilt werden, 7 Tastendrucke sind notwendig. Ausserdem beschränkt sich die Aufgabenbearbeitung auf den rechten Teil des Radiophons, es müssen keine langen Wege unternommen werden und es ist relativ wenig visueller Suchaufwand nötig (die Telefontaste ist relativ groß und leicht zu finden).

Als zweite Aufgabe sollen die Versuchspersonen manuell eine Frequenz im Radio eingeben. Die Frequenz wird dabei mittels des Zahlenblocks eingetippt.

- (1) Drücken der SRC-Taste (Wechseln in Radio-Modus)
- (2) „0“ für manuelle Frequenzeingabe
- (3) Eingabe der 5-stelligen Frequenz (103.5 bzw. 107.7)
- (4) Bestätigen mit ‘ok’

Hier kann man also die Aufgabe grob in vier Blöcke unterteilen, insgesamt sind 8 Tastendrucke notwendig. Allerdings stellt hier das Finden der Tasten höhere Anforderungen an die visuelle Suche. Die SRC-Taste und die ok-Taste befinden sich nicht

in unmittelbarer Nähe des Zahlenblocks, die erstere ist sogar am weitesten von allen Tasten davon entfernt.

In der folgenden Tabelle wird versucht, die einzelnen Anforderungen der Aufgaben vergleichend gegenüberzustellen. Da die Anforderungsdimensionen der einzelnen Aufgabentypen jedoch sehr unterschiedlich sind, kann die Bewertung der Anforderungen nur subjektiv erfolgen:

Aufgabenart	Tätigkeit	visuelle Anforderung	Anzahl der Bedienschritte	Dauer der Abl./Abw.
Ablenkung	Entgegennehmen eines Anrufs	gering	1	gering
	Gespräch	–	–	hoch
Abwendung	Tätigen eines Anrufs	mittel	7	hoch
	Frequenzeingabe	hoch	8	hoch

Tabelle 10: Aufschlüsselung der Fahreranforderungen durch die einzelnen Aufgabentypen

5.3.1.4 Ablauf der Untersuchung

Eingewöhnungsphase

Die 18 Versuchspersonen erhalten zunächst die Gelegenheit, sich in einer ca. 12 Minuten dauernden Fahrt an Fahrzeug und Simulation zu gewöhnen. Hierzu fahren Sie vom Flughafen München nach München-Stadt. Sie können zunächst frei fahren, nach halber Strecke taucht jedoch ein Fremdfahrzeug vor ihnen auf, dem sie bis München in einem konstanten Abstand folgen sollen. Dieses variiert seine Geschwindigkeit im Bereich zwischen 80 und 120 km/h.

Nach dieser Eingewöhnungsfahrt erhalten die Versuchspersonen eine kurze Einführung in die relevanten Funktionen des Radiophons. Danach werden die später durchzuführenden Handlungsabläufe geübt (Entgegennehmen bzw. Tätigen eines Anrufs, Eingabe einer Frequenz am Radio).

Experimentalphase

In der Nachfolgebedingung müssen die Versuchspersonen bei der Autobahnauffahrt in eine aus 10 Fahrzeugen bestehende Kolonne einfädeln. Sie erhalten die Instruktion, in der Kolonne mitzuschwimmen und sich so gut wie möglich an deren Geschwindigkeit anzupassen (Nachfolgefahrt). Hier sind neben dem Simulatorfahrzeug und den Kolonnenfahrzeugen noch einige andere Fahrzeuge in der Gegenrichtung auf der Strecke, um die Fahrt realistischer zu gestalten. In München biegen die Versuchspersonen an der Ampel nach links ab, wonach sie noch für in etwa sechs Minuten auf der Autobahn ohne Fremdverkehr fahren können (Alleinfahrt auf der Landstraße).

Bei der freien Fahrt mit zeitkritischen Situationen (Zeitkritische Fahrt) werden die Fahrer unterwiesen, auf der Autobahn eine möglichst konstante Geschwindigkeit von 120 km/h einzuhalten und alle Fahrzeuge zu überholen, die sie bei der Einbehaltung dieser Geschwindigkeit behindern. In München angekommen, biegen die Versuchspersonen nochmals auf einen kurzen Autobahnabschnitt in Richtung Starnberg ab (Alleinfahrt auf der Autobahn). Auch hier sind neben dem Simulatorfahrzeug und den zu überholenden Fahrzeugen noch einige andere Fahrzeuge in der Gegenrichtung auf der Strecke (Dauer: ca. 15 min).

Die Versuchspersonen absolvieren einmal die Kolonnenfahrt (mit Zusatzaufgaben) und zweimal die freie Fahrt mit zeitkritischen Situationen (einmal mit, einmal ohne Zusatzaufgaben zur Erhebung der Baseline). Die Untersuchung dauert insgesamt ca. 100 Minuten.

5.3.1.5 Datenaufzeichnung

Auswertung der Fahrdynamik

Während der Experimentalfahrten wird mit einer Aufzeichnungsrate von 25 Hz eine Reihe unterschiedlicher fahrdynamischer Parameter aufgezeichnet, mittels derer das Fahrverhalten während der zeitkritischen Fahrsituationen detailliert beschrieben werden kann. Dabei wird als Referenz nicht nur das Fahrverhalten der Versuchsperson protokolliert, sondern auch das Verhalten des vorausfahrenden Fremdfahrzeugs.

Während der Versuchsfahrten wird neben den nachfolgend in Tabelle 11 aufgeführten fahrdynamischen Parametern ein Timecode (LTC-Format) in den Fahrprotokollen auf-

gezeichnet, der eine Synchronisierung von Fahrdaten und Beobachtungsvideo ermöglicht:

Allgemein	
	Experimentalzeit [sec] TimeCode [sec]
Versuchspersonenfahrzeug	
	Fahrzeugposition (X,Y,Z) Eigengeschwindigkeit [km/h] und -beschleunigung [m/sec ²] Querbesehleunigung [m/sec ²] Gas- und Bremspedalstellung [%] Lenkradwinkel [°] Lenkradwinkelgeschwindigkeit [°/sec] Abstand zum Fahrbahnrand rechts [m] Time-to-Linecrossing [sec]
Fremdfahrzeuge (vorausfahrendes Fahrzeug)	
	Fremdgeschwindigkeit [km/h] Fremdbesehleunigung [m/sec ²] Abstand [m] und [sec] Time-to-Collision [sec] Abstand zum Fahrbahnrand rechts [m]

Tabelle 11: Aufgezeichnete fahrdynamische Parameter

Auswertung des Blick- und Bedienverhaltens

Das Videomaterial (Blickverhalten des Fahrers sowie das frontale Verkehrsgeschehen) wird mittels der Videobeobachtungssoftware INTERACT im Hinblick auf das Fahrerverhalten analysiert. Hierbei handelt es sich um eine Software, die die wissenschaftliche Auswertung von Videoaufnahmen unterstützt, indem sie es ermöglicht, neben der Dauer eines Bedienvorganges oder einzelner Blickzuwendungen auch den Ablauf von Handlungssequenzen zu erfassen und einzelne Aktionen in eine zeitliche Beziehung zu setzen. Das Grundprinzip von INTERACT besteht darin, die Anfangs- und Endpunkte von Abschnitten auf einem Videoband zu speichern und diesen Abschnitten alphanumeri-

sche Zeichen (Codes) zuzuordnen. Die Software erlaubt es, per Tastendruck eine Bandstelle zu erfassen und ihr einen Code bzw. eine Beschreibung zuzuordnen. Somit unterstützt INTERACT auch die quantitative Auswertung von Videobändern, da es möglich ist, die Auftretenshäufigkeit von Kategorien auszuzählen. Die Sequenz der Codes über die Zeit hinweg kann grafisch dargestellt werden.

In die Videoanalyse werden nur diejenigen Aufgabenbearbeitungen aufgenommen, während derer keine schwerwiegenden Probleme bei der Bedienung aufgetreten sind. Wenn beispielsweise ein Fahrer die nötige Funktion des Geräts nicht findet und somit anfängt, das Systemmenü zu durchsuchen, wird dies zu erhöhter Blickaktivität in Form von mehr und längeren Blicken führen – diese Ausreisser würden die Ergebnisse verfälschen und werden somit nicht in die Datenanalyse aufgenommen.

Die verbleibenden Aufgabenbearbeitungen werden sodann einer exakten Videoanalyse unterzogen. Der auf den Videos aufgezeichnete TimeCode wird beim Kodieren von INTERACT ausgelesen und in einem Ascii-File abgelegt. Somit ist es möglich, bei der sich anschließenden Auswertung die Häufigkeit der Blickzuwendungen auszuzählen, frame-genau die Dauer einzelner Blickzuwendungen zu erfassen sowie Handlungsabläufe grafisch darzustellen. Kodiert wird dabei im einzelnen:

Kategorie „Aufgabe“:

- Zeitraum der Aufgabenbearbeitung
- Zeitpunkt des Eingehens eines Anrufs durch den Versuchsleiter

Kategorie „Blick“:

- Zeitraum der Blickzuwendung zum Radiophon

Die Blickzuwendung zum Radiophon wird als „Verkehrsblindzeit“ definiert. Somit beginnt die Blickzuwendung in dem Moment, in dem der Fahrer beginnt, seinen Blick vom Verkehrsgeschehen abzuziehen und nicht erst, wenn sein Blick das Ziel gefunden hat.

- Zeitraum eines Sicherungsblicks (Schulter- oder Spiegelblick)

Kategorie „Aktion“:

- Zeitraum des Blinker-Setzens
- Zeitraum des Einscherens bzw. Ausscherens

- Zeitpunkt, zu dem sich der Fahrer neben dem zu überholenden Fremdfahrzeug befindet

Subjektive Daten

Ein sowohl billiges als auch einfach zu erhebendes Messinstrument ist die Selbstausskunft der Versuchsperson, sei sie anhand eines Interviews oder anhand eines Fragebogens. Hierbei geht man von der Annahme aus, dass keine andere Messung bzw. keine externe Beobachtung ein exakteres Bild der erlebten Beanspruchung geben kann als der oder die Beteiligte selbst. Um eine Selbsteinschätzung der erlebten Beanspruchung zu erhalten, wird den Versuchspersonen zwischen und nach den Fahrten der KAB (Kurzfragebogen zur aktuellen Beanspruchung nach Müller) und der NASA-TLX (in einer abgewandelten Form des Fraunhofer-Instituts) vorgelegt.

- Der Kurzfragebogen zur aktuellen Beanspruchung (KAB) (Müller, 1993) definiert die Beanspruchung als Teilaspekt des momentanen Befindens und sieht sie als eindimensionales Konstrukt. Er besteht aus sechs bipolar angeordneten positiven und negativen Adjektiven, die eine sechsstufige Rangskala begrenzen. Eingesetzt wurde das Instrument bislang in mehreren Laborstudien sowie bei Feldstudien zur Blutspende und zu Krankenhausaufenthalten. Er zeichnet sich dem Autor zufolge durch geringe Bearbeitungsdauer, hohe Sensitivität gegenüber kurzzeitigen Veränderungen und gute sprachliche Verständlichkeit aus.
- Beim NASA-TLX handelt es sich ebenfalls um eine multidimensionale Skala - es müssen Ratings auf unterschiedlichen Subskalen abgegeben werden, die schließlich zu einem Gesamtwert integriert werden können. Der Gesamtscore basiert auf gewichteten Ratings bzgl. folgender Subskalen: Geistige Anforderung, körperliche Anforderung, zeitliche Anforderung, Aufgabenerfüllung, Anstrengung und Frustration. Drei der Dimensionen beziehen sich ausschließlich auf die gestellten Anforderungen an die Versuchsperson (Geistige, körperl., zeitl. Anforderung), während die übrigen die Interaktion mit der Aufgabe erfassen. In der vorliegenden Untersuchung wird eine abgewandelte Form des NASA-TLX verwendet, die vom Fraunhofer-Institut im Rahmen einer Felduntersuchung zur automatischen Abstandsregelung (ACC) entwickelt wurde. Diese Form unterscheidet bei jeder Dimension zwischen Fahr- und Nebenaufgabe und versucht damit, zwischen den unterschiedlichen Anforderungen zu unterscheiden.

- Zudem werden die Versuchspersonen während der Fahrten verbal um eine Einschätzung der gerade erlebten Beanspruchung durch die Aufgabenbearbeitung gebeten („Wie beanspruchend haben Sie die Aufgabe auf einer Skala von 1 bis 5 erlebt?“). Da die Befragung im direkten Anschluss an die Aufgabenbearbeitung erfolgt, soll hier gezielt der Situationseinfluss erhoben werden, was mittels der oben genannten Instrumente nicht möglich ist.

5.3.1.6 Beschreibung der Stichprobe

Bei der Auswahl der Fahrer wird darauf geachtet, eine möglichst repräsentative Stichprobe zu untersuchen. Das Durchschnittsalter der 18 Versuchspersonen beträgt 31 Jahre, die jüngste Versuchsperson ist 23 Jahre alt, die älteste 52. Die 7 weiblichen Versuchspersonen weisen einen Altersdurchschnitt von 33.2, die 11 männlichen Versuchspersonen einen Altersdurchschnitt von 30.2 Jahren auf.

Bei den Fahrern handelt es sich mehrheitlich (15 von 18) um externe Versuchspersonen aus der BMW-Versuchspersonenkartei. Daneben nehmen aber auch 3 Praktikanten aus unterschiedlichen BMW-Entwicklungsabteilungen teil.

In Abbildung 42 ist die Jahreskilometerleistung der Versuchspersonen dargestellt. Es kann festgestellt werden, dass die Stichprobe eine durchschnittliche bis überdurchschnittliche Jahreskilometerleistung aufweist. Als Minimum wird dabei eine Kilometerleistung von 10.000 km, als Maximum 50.000 km pro Jahr angegeben.

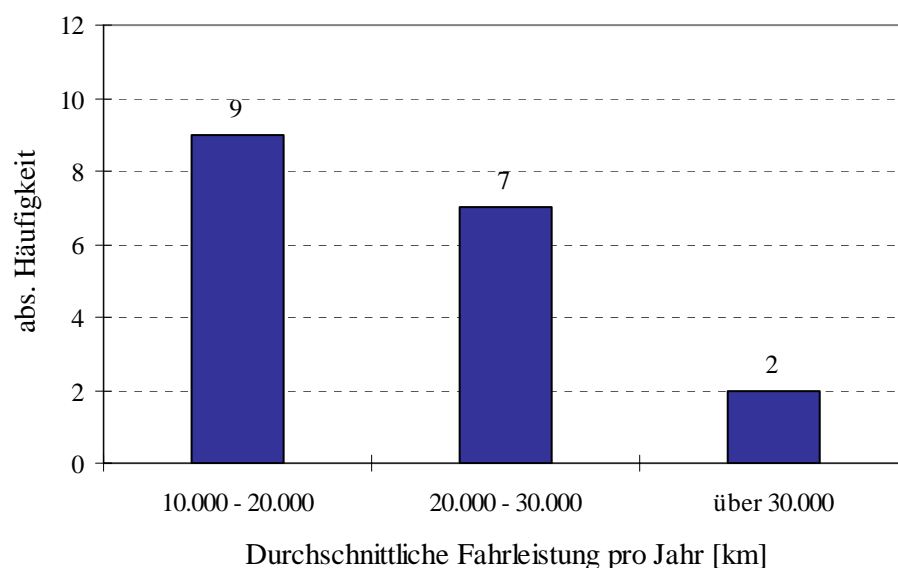


Abbildung 42: Durchschnittliche Jahreskilometerleistung der Versuchspersonen

Für die Analyse der Aufgabenunterbrechungen werden diejenigen 14 Probanden ausgewählt, die mit der Bedienung des in dieser Untersuchung verwendeten Geräts am besten zurechtkommen.

5.3.2 Analyse der Aufgabenunterbrechungen

5.3.2.1 Häufigkeit von Aufgabenunterbrechungen

Zunächst soll ein Augenmerk darauf gelegt werden, wie häufig die Fahrer in den zeitkritischen Fahrsituationen im Vergleich zu den Kontrollsituationen die Aufgabenbearbeitung unterbrechen, um sich wieder vollständig dem Verkehrsgeschehen zuzuwenden. Hierzu werden nur die Abwendungsaufgaben herangezogen (s. Kap. 5.3.1.3). Als Kriterium wird das Zurückbewegen der rechten Hand an das Lenkrad und die gleichzeitige Blickzuwendung zur Verkehrsszene herangezogen.

Während der Videoauswertung wird jedoch deutlich, dass diese Definition der Aufgabenunterbrechung (Hand zurück ans Lenkrad) nicht ausreichend ist. Dies ist unter anderem darauf zurückzuführen, dass die Simulationsfahrten auf der Autobahn keine allzu hohen Anforderungen an die Spurhaltung stellen und die Probanden daher nicht immer die Notwendigkeit sehen, beide Hände an das Lenkrad zurückzunehmen. Daher wird als Kriterium zusätzlich das Blickverhalten herangezogen und dabei unterschieden, ob der Blick zur Verkehrsszene nur den Übergang zum nächsten Blick auf das Radiophon darstellt oder aber so lange andauert, dass von einer Aufgabenunterbrechung ausgegangen werden kann. Diese Auswertung wird nachfolgend für die beiden Aufgabentypen „Frequenzeingabe“ sowie „Anruf tätigen“ getrennt vorgenommen.

Zunächst wird der Bedienvorgang „Frequenzeingabe“ hinsichtlich der Auftretenshäufigkeit von Aufgabenunterbrechungen untersucht. Dieser Bedienvorgang wurde sowohl in den beiden Kontrollbedingungen (freie Fahrt und Nachfolgefahrt) als auch während der zeitkritischen Situationen durchgeführt:

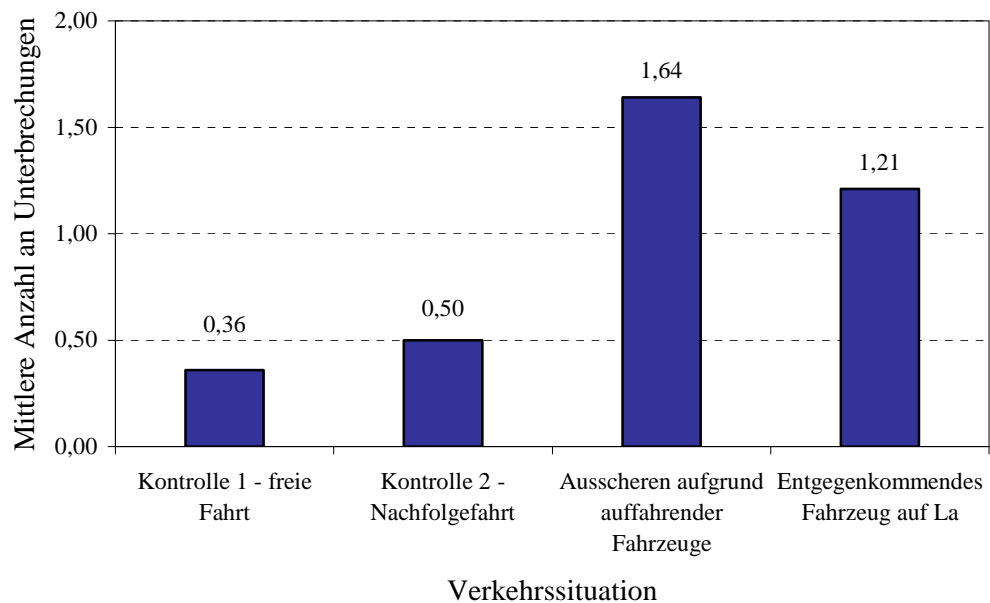


Abbildung 43: Häufigkeit von Aufgabenunterbrechungen bei der **Frequenzeingabe** für unterschiedliche Verkehrssituationen ($N=14$ Versuchspersonen)

Abbildung 43 zeigt eine im Mittel deutlich erhöhte Anzahl von Aufgabenunterbrechungen für die zeitkritische Verkehrssituation „Ausscheren aufgrund auffahrender Fahrzeuge“ verglichen mit den Kontrollbedingungen. Auch während der Situation „Entgegenkommendes Fahrzeug“, die an sich keine zeitkritischen Anforderungen enthält, wohl aber erhöhte Konzentration auf die Spurhaltung erfordert, sind häufiger Aufgabenunterbrechungen zu beobachten als während der Kontrollsituationen.

Die Auszählung der Häufigkeit der Aufgabenunterbrechungen zeigt bei nahezu jeder der analysierten zeitkritischen Situationen zumindest eine Aufgabenunterbrechung (Ausnahme: bei „Entgegenkommendes Fahrzeug auf Landstraße“ unterbrechen zwei Probanden nicht). Im Mittel ergeben sich somit, wie in den beiden Abbildungen dargestellt, bis zu durchschnittlich 1.64 Unterbrechungen pro Verkehrssituation.

Die folgende Tabelle zeigt für die unterschiedlichen Verkehrssituationen nochmals im einzelnen die Aufschlüsselung der Anzahl der Unterbrechungen:

	Anzahl der Unterbrechungen			
	0	1	2	3
Kontrolle 1 - freie Fahrt	10	3	1	0
Kontrolle 2 - Nachfolgefahrt	8	5	1	0
Ausscheren aufgrund auffahrender Fahrzeuge	0	6	7	1
Entgegenkommendes Fahrzeug auf Landstraße	2	7	5	0

Tabelle 12: Anzahl der Aufgabenunterbrechungen in unterschiedlichen Verkehrssituationen für den Aufgabentyp „Frequenzeingabe“ (N=14 Versuchspersonen)

Die Tabelle 12 zeigt, dass während der zeitkritischen Situation „Ausscheren aufgrund auffahrender Fahrzeuge“ 7 der 14 Probanden zweimal unterbrechen, ein Fahrer unterbricht sogar drei mal den Bedienvorgang.

In der Kontrollsituation „freie Fahrt“ hingegen unterbrechen 10 Probanden überhaupt nicht, drei Fahrer wenden sich einmal dem Verkehrsgeschehen vollständig zu. In der etwas beanspruchenderen Kontrollbedingung „Nachfolgefahrt“ sind es immerhin schon fünf Probanden, die die Bedienung zumindest einmal unterbrechen.

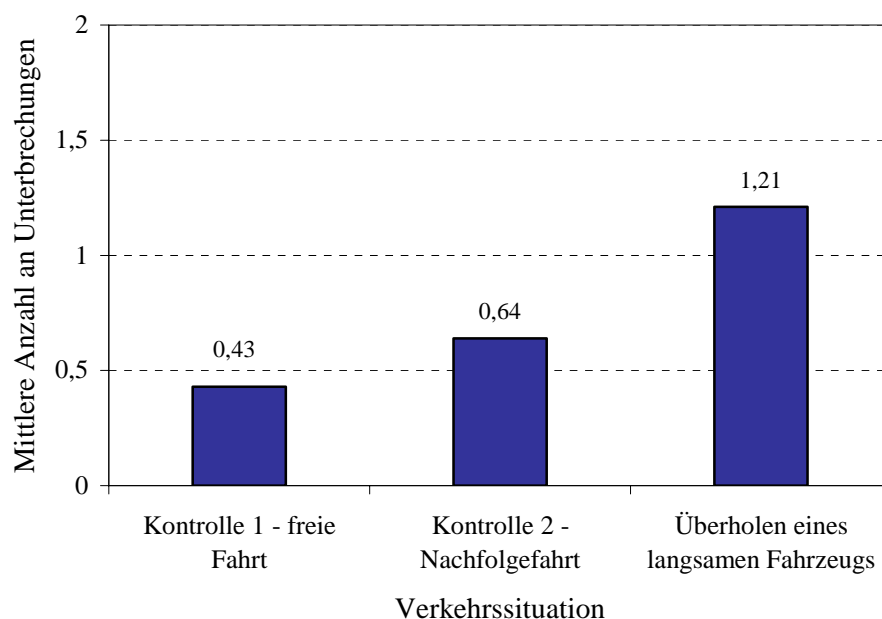


Abbildung 44: Häufigkeit von Aufgabenunterbrechungen beim **Tätigen eines Anrufs** für unterschiedliche Verkehrssituationen (N=14 Versuchspersonen)

Wie aus Abbildung 44 ersichtlich, treten auch beim Aufgabentyp „Tätigen eines Anrufs“ im Mittel mehr Aufgabenunterbrechungen während der zeitkritischen Situation als in den Kontrollbedingungen auf. Auch für diesen Bedienvorgang wird die Anzahl der Unterbrechungen nochmals detaillierter ausgeschlüsselt:

	Anzahl der Unterbrechungen			
	0	1	2	3
Kontrolle 1 - freie Fahrt	9	4	1	0
Kontrolle 2 - Nachfolgefahrt	6	7	1	0
Überholen eines langsamen Fahrzeugs	1	9	4	0

Tabelle 13: Anzahl der Aufgabenunterbrechungen in unterschiedlichen Verkehrssituationen für den Aufgabentyp „Tätigen eines Anrufs“ (N=14 Versuchspersonen)

Auch bei der Betrachtung dieser Tabelle ist ersichtlich, dass in den Kontrollsituationen die Mehrheit der Fahrer den Bedienvorgang überhaupt nicht unterbricht. Dennoch kommt es vor allem während der Nachfolgefahrt zu einigen Unterbrechungen, die vor allem auf Probleme bei der Spurhaltung zurückzuführen sind bzw. auf das Bemühen, den Abstand zum vorausfahrenden Fahrzeug konstant zu halten.

Bei der zeitkritischen Situation „Überholen eines langsamen Fahrzeugs“ hingegen kommt es wiederum am häufigsten zu einer Unterbrechung im Bedienvorgang. 9 der 14 Probanden unterbrechen den Bedienvorgang ein Mal, vier sogar zwei Mal. In welchen Phasen des Handlungsablaufs diese Unterbrechungen auftreten, soll nun im nächsten Kapitel untersucht werden.

5.3.2.2 Lokalisation von Aufgabenunterbrechungen im Handlungsablauf

An dieser Stelle soll untersucht werden, wann im Handlungsablauf während der zeitkritischen Situationen verstärkt Aufgabenunterbrechungen zu beobachten sind. Zu diesem Zweck werden die bei der Videoanalyse gefundenen Anfänge der Aufgabenunterbrechungen den einzelnen Phasen des zeitkritischen Fahrmanövers zugeordnet und deren Position auf einer Zeitachse dargestellt. Als Grundlage dient dabei der in Kapitel 2.4.3 erarbeitete Handlungsablauf während einer zeitkritischen Fahrsituation.

In der nachfolgenden Abbildung wird also veranschaulicht, wann die Fahrer besonders häufig ihren Bedienvorgang unterbrechen, um sich wieder ganz dem Verkehrsgeschehen zuzuwenden. Dabei werden die beiden Situationen „Überholen eines langsamen Fahrzeugs“ und „Überholen einer auffahrenden Kolonne“ aufgrund der Ähnlichkeit des Manövers zusammenfassend betrachtet:

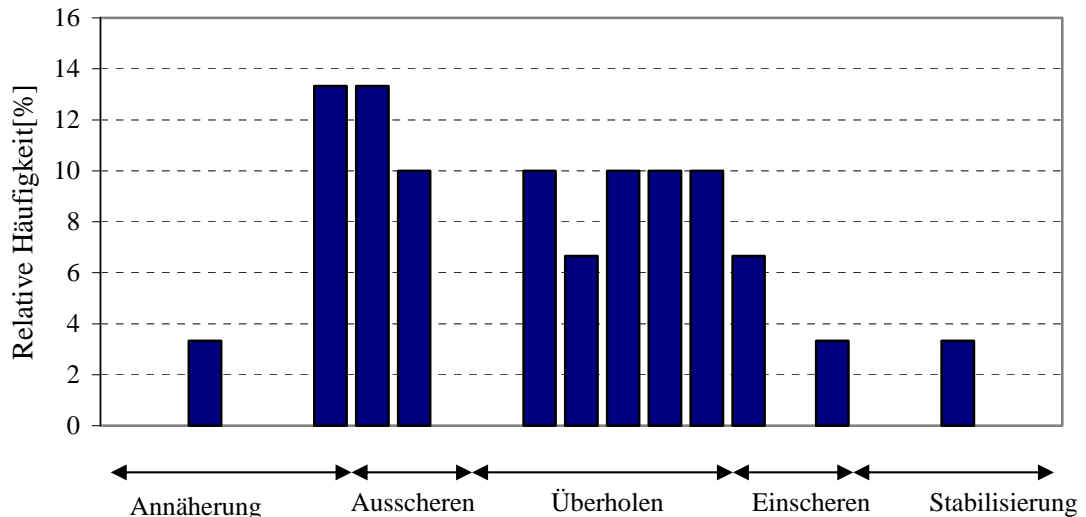


Abbildung 45: Lokalisation von Aufgabenunterbrechungen im Handlungsablauf (Sit: Überholen eines langsamen Fahrzeugs bzw. Überholen einer auffahrenden Kolonne)

Die Abbildung zeigt für die beiden untersuchten Verkehrssituationen besonders häufig Unterbrechungen des Bedienvorgangs zu Beginn des Ausscherens und während des Überholvorganges bzw. zu Beginn des Wiedereinscherens. Vergleichsweise wenige Unterbrechungen sind hingegen während der Annäherung bzw. Orientierung zu beobachten.

Eine etwas anders geartete Verkehrssituation wird in Abbildung 46 dargestellt. Hier kommt der Versuchsperson auf einer kurvigen und relativ schmalen Landstraße ein Fremdfahrzeug entgegen. Hier sind also keine zeitkritischen Anforderungen gegeben:

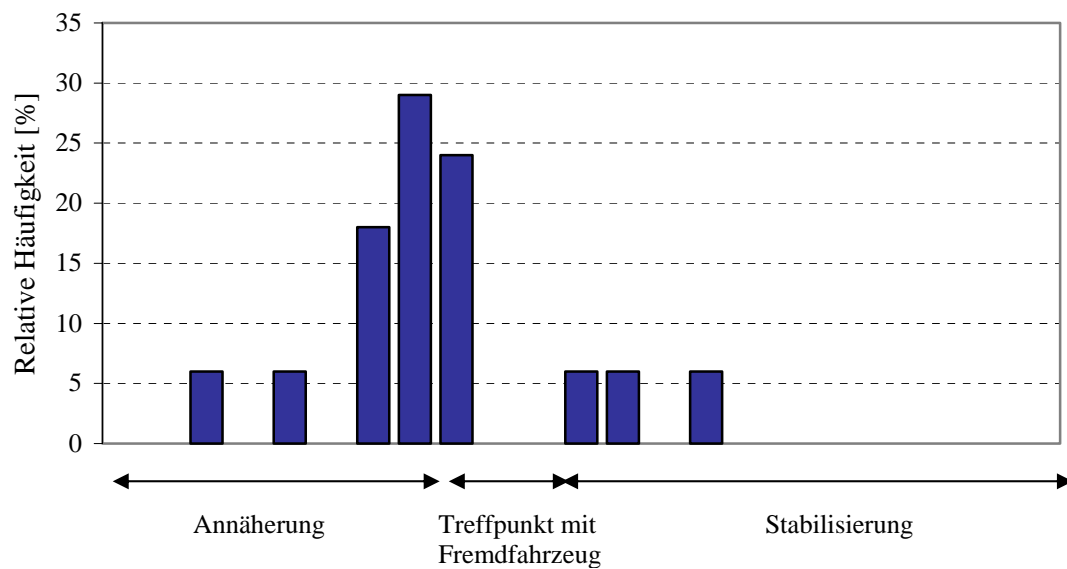


Abbildung 46: Lokalisation von Aufgabenunterbrechungen im Handlungsablauf (Sit: Entgegenkommen des Fahrzeug auf Landstraße)

Es kann festgestellt werden, dass die Mehrzahl der Aufgabenunterbrechungen im unmittelbaren Vorfeld der Begegnung mit dem Fremdfahrzeug beginnt. Einige wenige Unterbrechungen erfolgen im Nachlauf der Situation, vor allem dann wenn der Fahrer aufgrund des Bedienvorganges Probleme bei der Spurhaltung zeigt.

5.3.2.3 Phasen der Aufgabenbearbeitung

Nachdem im vorhergehenden Abschnitt die Zeitpunkte des Beginns der Aufgabenunterbrechung näher bestimmt wurden, soll nun im Gegenzug dargestellt werden, wann die Fahrer im Ablauf der zeitkritischen Situation sich verstärkt dem Bedienvorgang zuwenden. Hierzu wird wiederum der Handlungsablauf in der zeitkritischen Fahrsituation als Zeitschiene dargestellt und abgetragen, wann die Fahrer die Aufgaben bearbeiten:

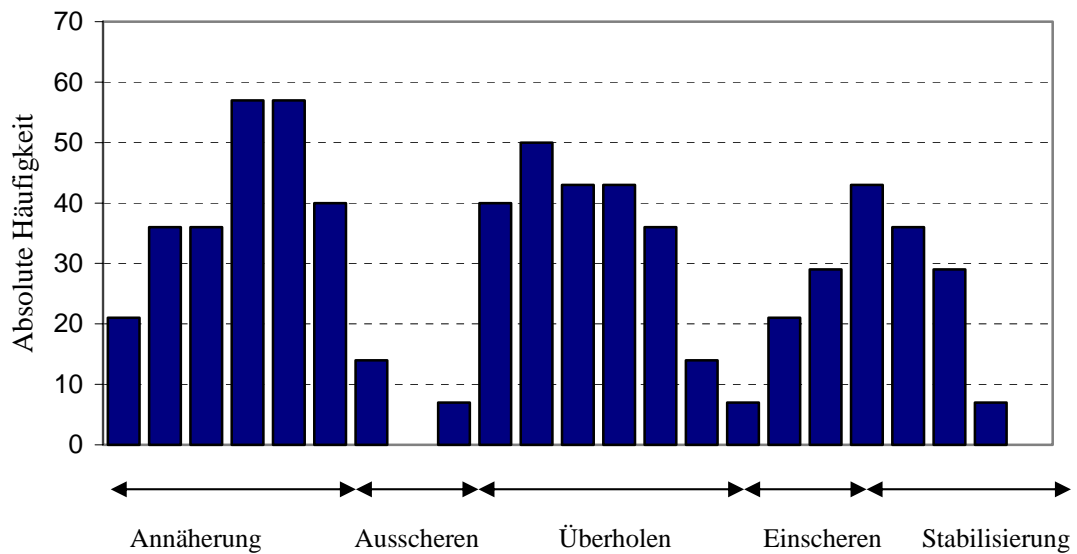


Abbildung 47: Verteilung der Bearbeitungszeiträume im Handlungsablauf (Sit: Überholen einer auffahrenden Kolonne)

Wie zu erwarten ist, zeigt die Abbildung 47 einen direkten Zusammenhang mit der zuvor dargestellten Lokalisation von Aufgabenunterbrechungen während der Situation „Überholen einer auffahrenden Kolonne“. Die Probanden bedienen vor allem in der Phase der Annäherung, wenn sie sich während des Überholens auf der linken Spur befinden und nach erfolgtem Überholvorgang in der Phase des Wiedereinpendelns. Während des Aus- und Einscherens sind hingegen kaum Bedienvorgänge zu verzeichnen.

5.3.3 Analyse der Blickzuwendungen beim Bedienvorgang

5.3.3.1 Dauer der Blickzuwendung

Nach der Analyse der Bearbeitungszeiträume und der Aufgabenunterbrechungen in Abhängigkeit der Handlungsphase soll nun auch das Blickverhalten untersucht werden. Dabei soll ein Augenmerk darauf gelegt werden, ob sich das Blickverhalten der Fahrer während der Bedienvorgänge aufgrund der zeitkritischen Anforderungen ändert.

Nachfolgend werden die beiden zeitkritischen Situationen „Spurwechsel aufgrund eines langsamen Fahrzeugs“ und „Spurwechsel aufgrund einer einfädelnden Kolonne“ den Kontrollbedingungen gegenübergestellt und es wird die mittlere Dauer (± 1 Stdabw.) der Blickzuwendung errechnet. Der Aufgabentyp ist in allen vier Fällen identisch, der Fahrer muss jeweils eine Frequenz im Radiophon einstellen:

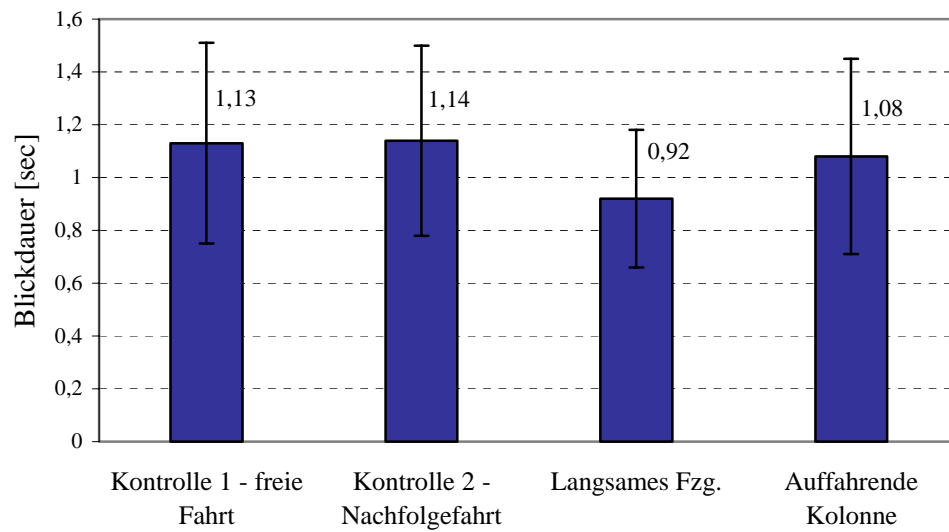


Abbildung 48: Mittlere Dauer der Blickzuwendung (± 1 Stdabw.) im Vergleich zwischen unterschiedlichen Verkehrssituationen ($N=14$ Versuchspersonen)

Der Vergleich der mittleren Blickdauern zeigt für die beiden zeitkritischen Situationen „Überholen eines langsamen Fahrzeugs“ und „Überholen einer auffahrenden Kolonne“ einen verringerten Mittelwert, die Fahrer wenden sich dem Bedienvorgang kürzer zu. Dies gilt vor allem für die Situation „Spurwechsel aufgrund eines langsamen Fahrzeugs“ mit einem Mittelwert von 0.92 sec.

5.3.3.2 Häufigkeit der Blickzuwendung

Nach der Betrachtung der Blickdauer soll nun auch gegenübergestellt werden, wie oft sich die Fahrer pro Bedienvorgang dem Radiophon zuwenden müssen. Auch hier liegen die gleichen Aufgabenbearbeitungen zugrunde, der Fahrer muss jeweils eine Frequenz im Radiophon einstellen:

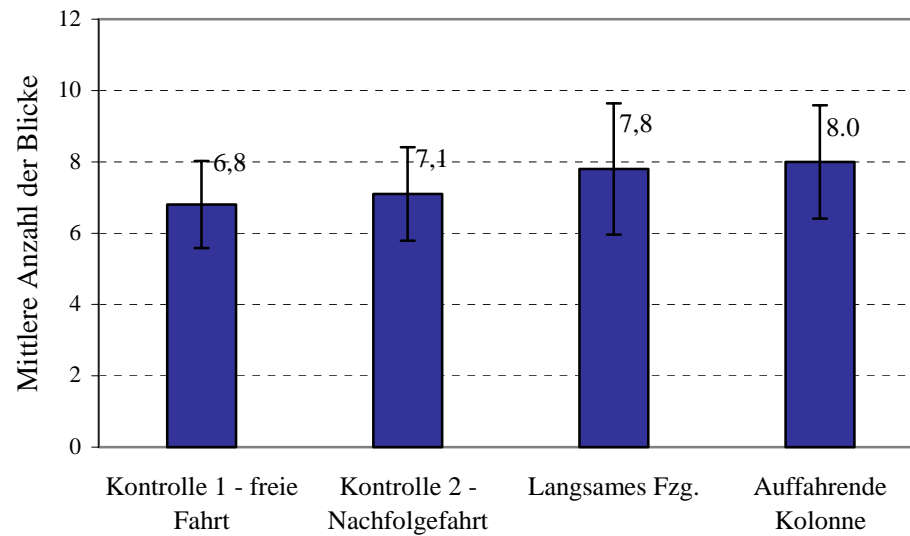


Abbildung 49: Mittlere Anzahl der Blickzuwendungen (+/- 1 Stdabw.) im Vergleich zwischen unterschiedlichen Verkehrssituationen (N=14 Versuchspersonen)

Es zeigt sich zunächst, dass die Probanden in den beiden zeitkritischen Situationen eine in etwa vergleichbare Anzahl an Blickzuwendungen für die Frequenzeingabe benötigen (im Mittel 7.8 bzw. 8.0 Blicke). Zudem zeigt es sich, dass die mittlere Blickzuwendungshäufigkeit im Vergleich zu den Kontrollbedingungen leicht zunimmt.

Insgesamt ist also festzustellen, dass die Fahrer in den zeitkritischen Situationen eine höhere Anzahl an Blickzuwendungen benötigen, diese aber im Mittel kürzer ausfallen.

Nachfolgend wird nun dargestellt, wie oft die Probanden im Mittel in Abhängigkeit von der Handlungsphase (vgl. Kap. 2.4.3) ihren Blick dem Zusatzgerät zuwenden. Hier werden die beiden zeitkritischen Situationen „Spurwechsel aufgrund eines langsamen Fahrzeugs“ und „Spurwechsel aufgrund einer einfädelnden Kolonne“ gegenübergestellt:

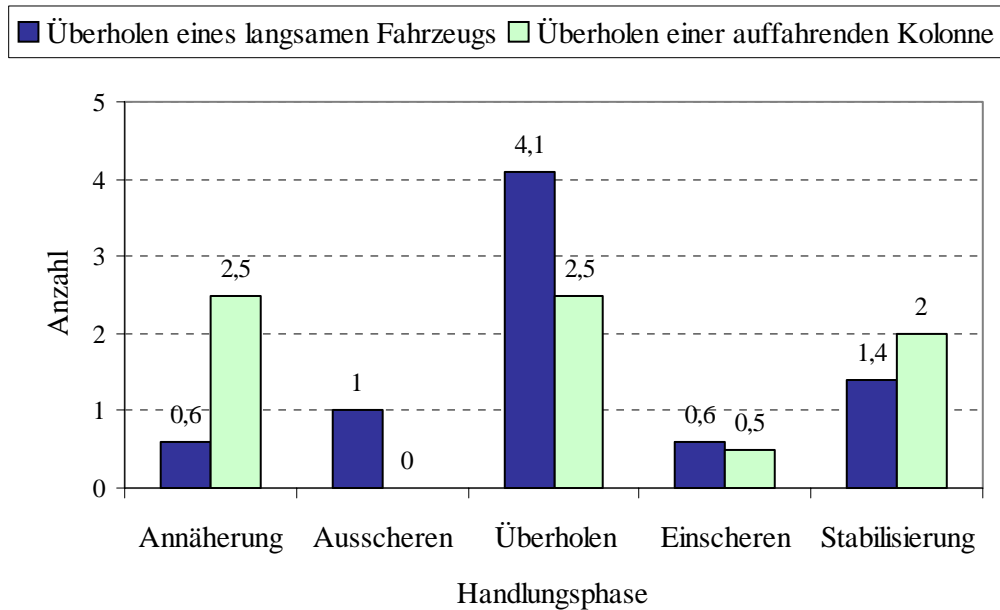


Abbildung 50: Mittlere Anzahl an Blickzuwendungen in Abhängigkeit von der Handlungsphase

Die Verteilung der Blickzuwendungen in Abbildung 50 zeigt in den beiden untersuchten Situationen die meisten Blickzuwendungen zu dem Zusatzgerät in der Phase des Überholens, also während sich der Fahrer auf der linken Fahrspur befindet. Auch in der letzten Phase, in der der Fahrer das Fahrzeug wieder in der Zielspur stabilisiert, sind relativ viele Blickzuwendungen zu verzeichnen. Beim Aus- und Einscheren hingegen sind verhältnismäßig wenige Blickzuwendungen zu beobachten.

Beim Vergleich der beiden Situationen ist festzustellen, dass sich die Blickverteilung beim „Überholen einer einfädelnden Kolonne“ als etwas gleichmäßiger darstellt (vor allem in der Annäherungsphase treten mehr Blickzuwendungen auf).

5.3.4 Auswertung der subjektiven Daten

5.3.4.1 Beanspruchungsrating während der Fahrt

Eine weitere Zielsetzung der vorliegenden Untersuchung behandelt die Frage, ob die Probanden in der Lage sind, eine valide Selbsteinschätzung hinsichtlich der erlebten Beanspruchung während der Fahrt abzugeben. Zu diesem Zweck werden die Fahrer am Telefon in direktem Anschluss an eine Aufgabenbearbeitung um ein verbales Rating gebeten „Wie würden Sie die gerade erlebte Beanspruchung durch die letzte Aufgabenbearbeitung auf einer Skala von 1 bis 5 einschätzen?“ (Beanspruchungsrating) und „Wie hoch würden Sie den während der gerade durchfahrenen Situation erlebten Zeitdruck

auf einer Skala von 1 bis 5 einschätzen?“ (Zeitdruckrating). In den nun folgenden Abbildungen werden die Ratings der Nachfolgefahrt und der Fahrt mit zeitkritischen Situationen gegenübergestellt. Es handelt sich also um die identischen Sekundäraufgaben in unterschiedlich beanspruchenden Verkehrssituationen:

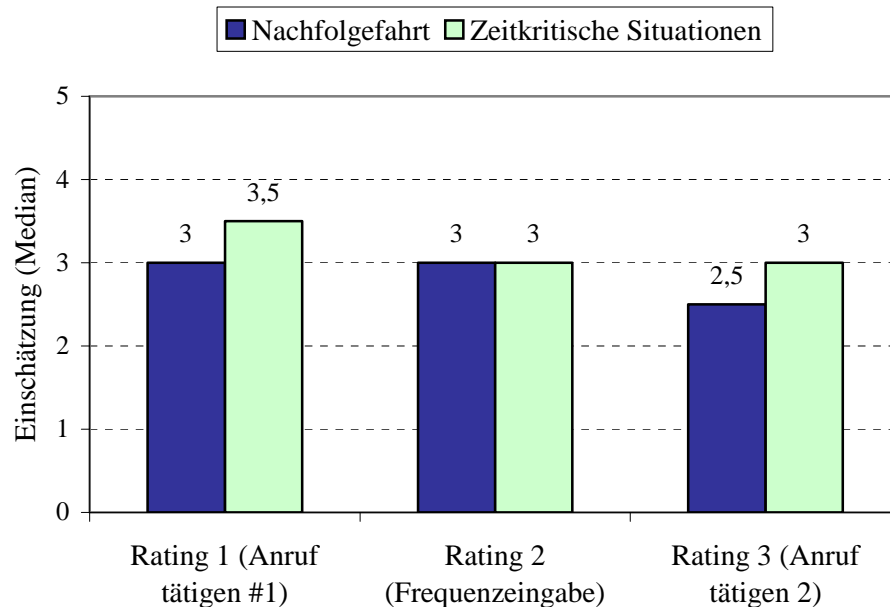


Abbildung 51: Einschätzung der **Beanspruchung während der Fahrt** im Vergleich zwischen Nachfolgefahrt und Fahrt mit zeitkritischen Situationen

Wie aus Abbildung 51 ersichtlich ist, werden identische Zusatz Tätigkeiten in der Fahrt mit zeitkritischen Situationen als geringfügig beanspruchender erlebt. Die relativ geringen Unterschiede sind jedoch nur beim Tätigen eines Anruf zu beobachten (Wilcoxon-Test; $Z=-2.86$, $p < 0.01$).

In den gleichen Situationen wird den Fahrern während der Fahrt mit zeitkritischen Situationen sowie während der Nachfolgefahrt auch ein Rating hinsichtlich des erlebten Zeitdrucks abverlangt. Hier zeigen sich folgende Ergebnisse:

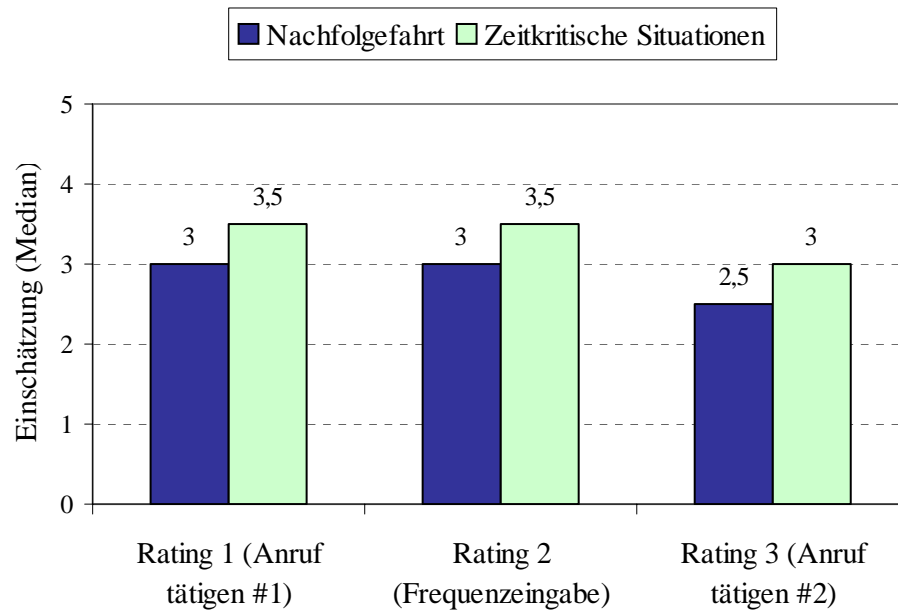


Abbildung 52: Einschätzung des **erlebten Zeitdrucks während der Fahrt** im Vergleich zwischen Nachfolgefahrt und Fahrt mit zeitkritischen Situationen

Bei den drei dargestellten Bedienvorgängen fällt der Median für die Fahrt mit zeitkritischen Situationen höher aus. Also wird auch der Zeitdruck während der Bedienvorgänge in der Fahrt mit zeitkritischen Situationen von den Versuchspersonen als etwas höher erlebt.

5.3.4.2 Befragung im Anschluss an die Fahrten

Beim NASA-TLX handelt es sich um eine multidimensionale Skala - es müssen Ratings auf unterschiedlichen Subskalen abgegeben werden, die schließlich zu einem Gesamtwert integriert werden können. Der Gesamtscore basiert auf gewichteten Ratings bzgl. folgender Subskalen: Geistige Anforderung, körperliche Anforderung, zeitliche Anforderung, Aufgabenerfüllung, Anstrengung und Frustration. Drei der Dimensionen beziehen sich ausschließlich auf die gestellten Anforderungen an die Versuchsperson (Geistige, körperl., zeitl. Anforderung), während die übrigen die Interaktion mit der Aufgabe erfassen.

In der vorliegenden Untersuchung wird eine abgewandelte Form des NASA-TLX verwendet, die vom Fraunhofer-Institut im Rahmen einer Felduntersuchung zur automatischen Abstandsregelung (ACC) entwickelt wurde. Diese Form unterscheidet bei jeder Dimension zwischen Fahr- und Nebenaufgabe und versucht damit, zwischen den unterschiedlichen Anforderungen zu unterscheiden. Der NASA-TLX wird den Fahrern je-

weils nach den einzelnen Experimentalfahrten vorgelegt - es ist also nicht möglich, auf spezielle Situationen bzw. Aufgaben Bezug zu nehmen. Dennoch soll geprüft werden, ob es durch dieses Instrument möglich ist, die unterschiedlichen Anforderungen in den unterschiedlichen Bedingungen nachzuweisen.

Eine interessante Rubrik ist die Frage nach dem erlebten Zeitdruck. Die Bewertungen der Fahrten sollten sich gerade hier unterscheiden, da vor allem die zeitlichen Anforderungen sehr unterschiedlich sind. Die Nachfolgebedingung kann als stetige Aufgabe bezeichnet werden, die Aufgabe ist klar definiert und weist einen eindeutigen Standard auf (Geschwindigkeit des Vorausfahrenden). In der Fahrt mit zeitkritischen Situationen hingegen steht den Fahrern des öfteren nur ein begrenztes Zeitfenster zur Reaktion bzw. zur Handlungsentscheidung zur Verfügung.

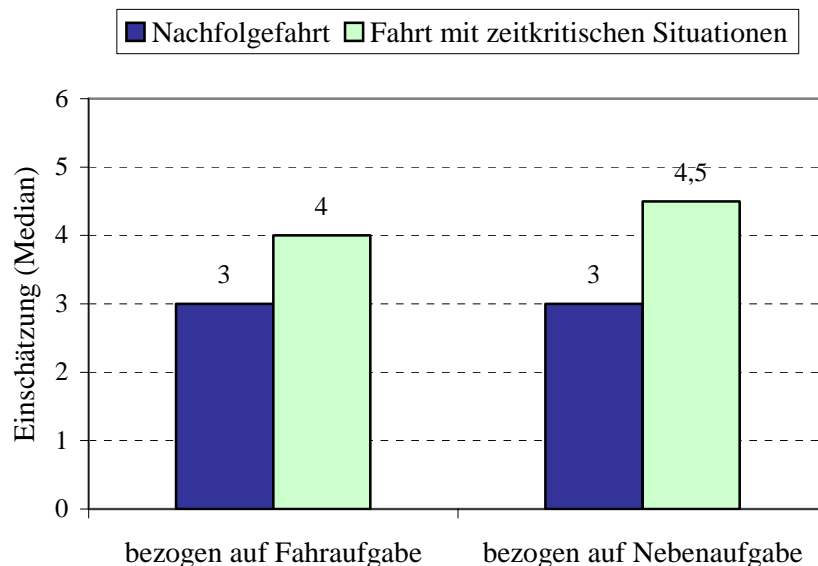


Abbildung 53: Einschätzung des **erlebten Zeitdrucks** im NASA-TLX (getrennt nach Fahr- und Nebenaufgabe)

Der Wilcoxon-Test zeigt in dieser für die Fragestellung besonders interessanten Rubrik des wahrgenommenen Zeitdrucks keinen signifikanten Unterschied zwischen Nachfolgefahrt und zeitkritischer Fahrt ($Z=-1.78$), obwohl hier tendenziell die zeitkritische Fahrt als schwieriger bewertet wird. Der Unterschied bei der Bewertung der Nebenaufgabe erweist sich ebenfalls als nicht signifikant ($Z=-1.59$), obwohl auch hier eine Tendenz zu erhöhtem erlebten Zeitdruck im Falle der Fahrt mit zeitkritischen Situationen zu beobachten ist.

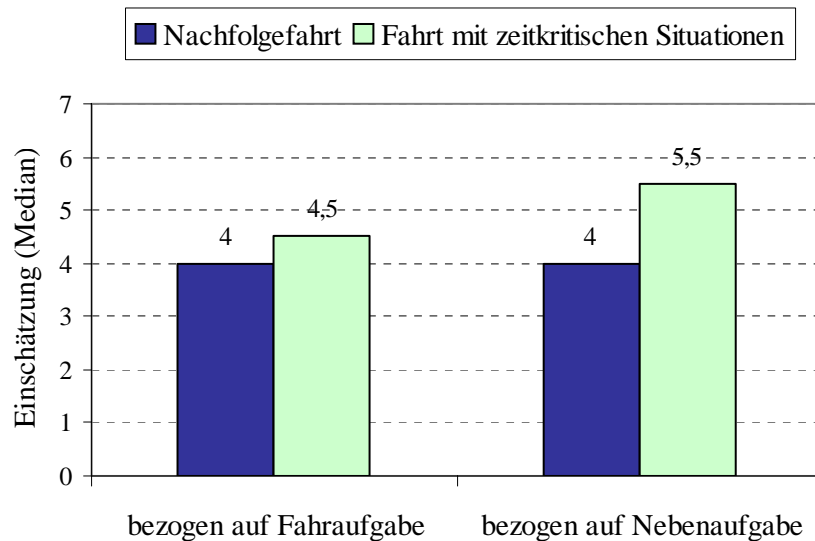


Abbildung 54: Einschätzung der **geistigen** Beanspruchung im NASA-TLX (getrennt nach Fahr- und Nebenaufgabe)

In Abbildung 54 ist eine ähnliche Tendenz wie bei der zuvor erhobenen Kategorie festzustellen. Es ergibt sich ein signifikanter Unterschied bei der Bewertung der Nebenaufgabe ($Z=-3.21$, $p < 0.01$). Auch hier dürfte prinzipiell kein Unterschied zwischen den Fahrten zu finden sein, da ja die Nebentätigkeit identisch ist. Jedoch zeigt sich auch hier, dass der Einfluss der Verkehrssituation durchschlägt. Auch für die Fahraufgabe kann ein signifikanter Effekt der Experimentalbedingung nachgewiesen werden ($Z=-2.35$, $p < 0.05$).

Die letzte dargestellte Dimension des NASA-TLX ist die Kategorie „Aufgabenerfüllung“:

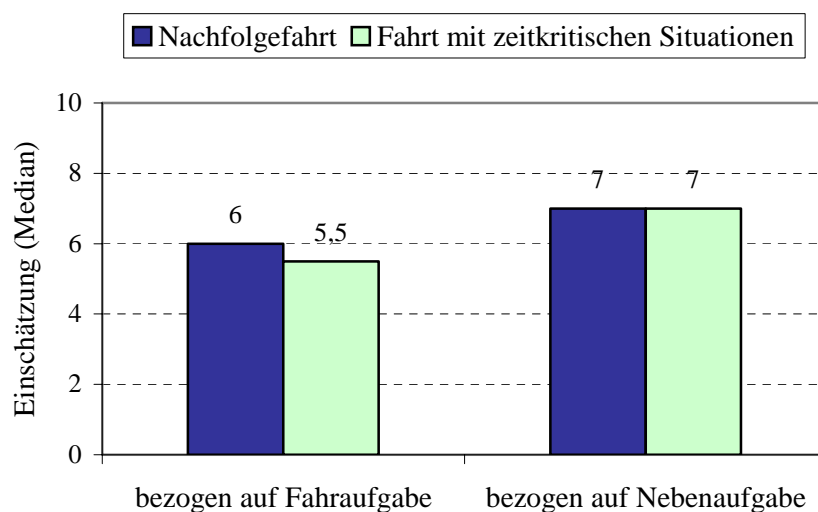


Abbildung 55: Einschätzung der **Aufgabenerfüllung** im NASA-TLX (getrennt nach Fahr- und Nebenaufgabe)

Aus Abbildung 55 ist ersichtlich, dass sich die Fahrer bei der Aufgabenerfüllung allgemein als hoch einschätzen. Sowohl für Fahraufgabe als auch für die Nebenaufgabe zeigen sich keine signifikanten Unterschiede zwischen den Experimentalbedingungen.

5.3.5 Zusammenfassung

Die Analyse der Aufgabenunterbrechungen im Untersuchungsabschnitt 3 zeigt, dass sich die Fahrer während ihrer Bedienvorgänge durchaus bewusst von der Aufgabe abwenden und sich wieder auf das Verkehrsgeschehen konzentrieren, sofern dies erforderlich ist. Fast alle Fahrer unterbrechen den Bedienvorgang zumindest einmal während der zeitkritischen Fahrsituationen, einige Fahrer sogar mehrmals. Zudem sind deutlich mehr Aufgabenunterbrechungen zu verzeichnen als bei den Bedienvorgängen während der Kontrollfahrten. Besonders häufig können Unterbrechungen des Bedienvorgangs zu Beginn des Ausscherens und während des Überholvorganges bzw. zu Beginn des Wiedereinscherens beobachtet werden. Kaum Unterbrechungen sind hingegen während der Annäherung bzw. Orientierung zu beobachten.

Diese Ergebnisse deuten darauf hin, dass Fahrer ihren Bedienvorgang planen und im Einklang mit der Verkehrssituation in einzelne Untereinheiten zerlegen. Voraussetzung hierfür ist, dass der betreffende Dialog eine Unterbrechung erlaubt – es dem Fahrer also ermöglicht, sich von dem Gerät abzuwenden, sofern dies das Verkehrsgeschehen erfordert, um den Dialog anschließend ohne großen Aufwand wieder aufnehmen zu können.

Methodisch zeigt sich, dass gerade für die Untersuchung dieser Fragestellung erst der Einsatz der Fahrsimulation die Analyse weitgehend standardisierter zeitkritischer Fahrsituationen ermöglicht. In dem hier beschriebenen Untersuchungsabschnitt 3 wurde ein stark handlungsorientierter Ansatz verwendet, der in einem nächsten Schritt noch stärker differenziert werden sollte, um z.B. auch die Handlungsstrategien der Nebenaufgabe zu betrachten. Darüberhinaus sollte auch das Fahrverhalten der Probanden noch eingehender analysiert werden.

Die Analyse der Befragung während der Fahrten und der Fragebögen nach den Fahrten zeigt, dass die Fahrer in der Lage sind, die während der Fahrten erlebte allgemeine Beanspruchung bei ihren Einschätzungen anzugeben. So ist beispielsweise der Beanspruchungsunterschied zwischen den Experimentalfahrten (Nachfolgefahrt und Fahrt mit zeitkritischen Situationen) in den Einschätzungen wiederzufinden.

Schwierig scheint es für die Versuchspersonen jedoch, klar zwischen der Beanspruchung durch Fahr- und Nebenaufgabe zu unterscheiden. Darüberhinaus erscheint es nicht als sinnvoll, wie im NASA-TLX nach der Fahrt detailliert zwischen unterschiedlichen Dimensionen von Fahr- und Nebenaufgabe (Zeitdruck, körperliche und geistige Beanspruchung sowie Aufgabenerfüllung) zu unterscheiden.

Die Ergebnisse der Befragung während der Fahrt zeigen, dass die Versuchspersonen im direkten Anschluss an die jeweilige Aufgabenbearbeitung zwischen den unterschiedlichen Dimensionen „allgemeine Beanspruchung“ und „Zeitdruck“ unterscheiden können. Somit sollte diese Methode weiter ausgebaut und erprobt werden. Es muss dabei sichergestellt werden, dass die einzelnen Situationen für den Fahrer klar getrennt sind und im Anschluss an die zu untersuchende Situation ausreichend Zeit zur Befragung ist.

Kapitel 6

6 Diskussion

Die vorliegende Arbeit setzt sich einerseits zum Ziel, zeitkritische Fahrsituationen und deren Anforderungen an den Fahrer detailliert zu beschreiben und zum anderen die Auswirkungen von ablenkenden Nebentätigkeiten im Fahrzeug während eben dieser Situationen zu bestimmen.

Im ersten Teil dieses abschließenden Kapitels werden nun die eingangs formulierten Fragestellungen erneut aufgegriffen, die in den beschriebenen Untersuchungen erhaltenen Ergebnisse werden nochmals zusammengefasst, interpretiert und kritisch diskutiert. Im Anschluss wird auf die Aussagekraft und Bedeutung der Untersuchung in Hinblick auf die Forschung in diesem Bereich eingegangen. Zudem werden die hier verwendeten Methoden und der gesamte Versuchsaufbau hinsichtlich der Eignung für die vorliegende Fragestellung diskutiert. Abschließend werden die Ergebnisse der Untersuchung in Handlungsempfehlungen umgesetzt.

6.1 Diskussion der Ergebnisse

6.1.1 Beschreibung des Fahrerverhaltens während zeitkritischer Fahrsituationen

Der erste Untersuchungsabschnitt dieser Arbeit greift die Fragestellung nach dem typischen Fahrerverhalten während zeitkritischer Fahrsituationen auf. Dabei wurde sowohl das Fahrverhalten als auch das Sicherungsverhalten vor und während der zeitkritischen Situation „Spurwechsel“ experimentell untersucht.

Das Sicherungsverhalten der 12 Probanden im Untersuchungsabschnitt 1 stellt sich in bezug auf die Sicherungsintensität und die Häufigkeit der Nutzung der unterschiedlichen Informationsquellen (Innenspiegel, Aussenspiegel, Schulterblick) als sehr heterogen dar und erschwert es somit, einen prototypischen Handlungsablauf während dieser Situationen darzustellen. Einige der Fahrer nutzen relativ konsequent den Innenspiegel, während andere fast ausschließlich mittels des Aussenspiegels sichern. Auch die Häufigkeit, mit der die

einzelnen Fahrer die Spiegel nutzen, erweist sich als sehr variabel. Dieses Ergebnis kann unter anderem auch darauf zurückgeführt werden, dass die dargestellten Spurwechselsituationen nur eingeschränkt reproduzierbar sind – aufgrund des von Situation zu Situation differierenden Verhaltens der Fremdverkehrsfahrzeuge stellen sich die Anforderungen an die Informationsverarbeitung des Probanden als unterschiedlich dar.

Dennoch können neben den unterschiedlichen Fahrertypen auch einige charakteristische Verhaltensmuster ausgemacht werden, die sich weitgehend mit dem Spurwechsel-Verhaltensmodell, wie es in Kapitel 2.4.3 skizziert wird, decken: Nach der Entstehung eines Spurwechselwunsches prüft der Fahrer in einer ersten Orientierungsphase die Möglichkeit zum Spurwechsel. Diese Phase ist bei vielen Fahrern durch relativ lang andauernde Blicke in den Innenspiegel gekennzeichnet (Sicherung im Fernbereich). Wenn diese Voraussetzung zum Spurwechsel gegeben ist, wird in einer weiteren Phase das Manöver eingeleitet und dabei nach hinten gesichert. Hier können vor allem Blicke in den linken Aussenspiegel beobachtet werden (Sicherung im Nahbereich). Ein Randabstand von in etwa drei Meter markiert den Zeitpunkt, an dem das Fahrzeug die Spurberandung erreicht. Nach ungefähr drei Sekunden ist die Zielspur erreicht und das Fahrzeug wird dort stabilisiert. Im unmittelbaren Vorfeld des Ausscherens kann eine leichte Annäherung an den rechten Fahrbahnrand beobachtet werden. Während der Spurwechseldurchführung ist zudem vor allem bei hohem Verkehrsaufkommen des öfteren ein Sichern zur Seite über die Schulter (Überwachung des toten Winkels) zu beobachten. Nach vollendetem Spurwechsel ist zudem häufig zumindest ein Innenspiegelmoment zu verzeichnen, um sich zu vergewissern, dass kein nachkommendes Fahrzeug in gefährlicher Weise behindert wurde.

Die Untersuchung liefert somit wichtige Daten, die mehr Aufschluss über das Fahrerverhalten in derart beanspruchenden Situationen geben. Diese Erkenntnisse über Handlungssequenzen könnten beispielsweise bei der Konzeption von Spurwechselwarnsystemen (der Fahrer wird vom System gewarnt, sobald er eine Spurwechselabsicht zeigt und sich gleichzeitig ein Fremdfahrzeug auf der Zielspur in gefährlicher Weise annähert) gewinnbringend eingesetzt werden. Zudem liefern die Ergebnisse Aufschlüsse darüber, wann Systeme im Fahrzeug die Übermittlung bzw. Darbietung von Informationen unterbrechen sollten, da der Fahrer mit der Informationsverarbeitung des Verkehrsgeschehens ohnehin schon bis an seine Belastungsgrenzen ausgelastet ist. Dies wäre somit ein Schritt hin zu Systemen, die eine Art „Aufmerksamkeitsmanagement“ im Fahrzeug übernehmen und damit den Fahrer

in besonders beanspruchenden Situationen entlasten. So kann beispielsweise beobachtet werden, dass die zeitlichen Verläufe der Sicherungsaktivität mehrere voneinander trennbare Häufungen von Sicherungsblicken aufweisen: zunächst treten in einer relativ frühen Phase Sicherungsblicke im Fernbereich auf (zumeist in den Innenspiegel). Während des eigentlichen Spurwechsels sind dann wiederum zwei Peaks zu verzeichnen: der erste ist beim Einleiten des Manövers zu beobachten, der zweite erfolgt bei Überschreiten der Fahrbahnmarkierung und besteht zumeist aus Aussenspiegel- bzw. Schulterblicken.

6.1.2 Der Einfluss visueller Ablenkung auf das Fahrerverhalten während des Spurwechsels

Im Untersuchungsabschnitt 2 wurden ebenfalls in der Fahrsimulation Spurwechselmanöver mit und ohne gleichzeitige ablenkende Nebentätigkeiten gegenübergestellt. Sowohl bei der durchschnittlichen Dauer der Sicherungsblicke als auch bei der durchschnittlichen Blickhäufigkeit gibt es nur sehr geringe Unterschiede zwischen der Fahrt unter Ablenkungsbedingungen und der Kontrollfahrt. Im Falle des Schulterblicks ist für einige Fahrer eine Verringerung der Nutzungshäufigkeit unter Ablenkungswirkung zu beobachten. Allerdings wenden nur wenige Fahrer überhaupt einen Schulterblick an, was zu einer so geringen Stichprobengröße führt, dass in diesem Zusammenhang keine verlässliche statistische Aussage getroffen werden kann.

Einen deutlicheren Effekt zeigt die Analyse der Wechsel zwischen den einzelnen Informationsquellen Innenspiegel, Aussenspiegel und Schulterblick. Hier kann nachgewiesen werden, dass in der Ablenkungsbedingung signifikant seltener Wechsel zwischen den einzelnen Blickorten auftreten. Die erhöhte Informationslast führt also ähnlich wie bei Heinze's Untersuchung in der Luftfahrt (Heinze, 1977) zu einer Reduktion der Wechselhäufigkeit zwischen den Anzeigen und somit zu einer Veränderung der Informationsaufnahme. Untersuchungen im Bereich der Motorik haben gezeigt, dass Probanden in der Lage sind, in wenig anfordernden Situationen rasch zwischen mehreren Aufgaben umzuschalten. Dieses „Multi-Plexing“ kann jedoch von den Fahrern in der vorliegenden Untersuchung nicht aufrechterhalten werden, da aufgrund der ablenkungsbedingt steigenden Umschaltkosten eine Verlangsamung erfolgt. Interessant wäre in diesem Zusammenhang eine Überprüfung von Wickens' Modell: Ihm zufolge läge der Vorteil bestimmter Modalitätskombinationen auch

darin, dass ein Umschalten vereinfacht wird, da die Modalitäten eine enge Koppelung aufweisen.

Durch die Bearbeitung der Zusatzaufgabe im Bereich des Bordmonitors könnte es sich zudem zeigen, dass die Aufmerksamkeit des Fahrers stärker in der Mitte des Fahrzeugs gebunden wird und weniger Aussenspiegel- bzw. Schulterblicke zu beobachten sind. Die Ergebnisse der Auszählung der mittleren Blickhäufigkeiten zeigt jedoch nur eine tendenzielle Verschiebung des Ortes der Aufmerksamkeit hin zum Innenspiegel. Insgesamt kann nur für drei der 12 Probanden eine Tendenz hin zum Innenspiegel beobachtet werden.

Durch die Einstelltätigkeiten am Bordmonitor erfährt der Fahrer eine zusätzliche visuelle Ablenkung, die dazu führen könnte, dass er erst zu einem späteren Zeitpunkt mit seiner Sicherungstätigkeit beginnt. Bei einigen Fahrern kann durchaus beobachtet werden, dass sich bei Fahrten unter Ablenkungswirkung ein mehrgipfliges Profil der Sicherungsaktivität zu einem eingipfligen verändert - die betreffenden Fahrer stellen zunächst ihr Sicherungsverhalten ein und nutzen erst wieder die Spiegel, wenn die Auswirkung der Ablenkung beendet ist.

Die Aussagekraft der Analyse von Sicherungsblicken im Simulator des Blickverhaltens allgemein muss natürlich mit Einschränkungen betrachtet werden, da die Probanden sehr wohl um die Simulation wissen und möglicherweise ihre Risikoeinschätzung in zeitkritischen Situationen entsprechend anpassen.

6.1.3 Zur Unterbrechbarkeit von Bedienvorgängen während zeitkritischer Fahrsituationen

Die Analyse der Aufgabenunterbrechungen in der vorliegenden Untersuchung (Untersuchungsabschnitt 3) zeigt, dass sich die Fahrer während ihrer Bedienvorgänge durchaus bewusst von der Aufgabe abwenden und sich wieder auf das Verkehrsgeschehen konzentrieren, sofern dies erforderlich ist. Fast alle Fahrer unterbrechen den Bedienvorgang zumindest einmal während der zeitkritischen Fahrsituationen, einige Fahrer sogar mehrmals. Zudem sind deutlich mehr Aufgabenunterbrechungen zu verzeichnen als bei den Bedienvorgängen während der Kontrollfahrten. Besonders häufig können Unterbrechungen des Bedienvorgangs zu Beginn des Ausscherens und während des Überholvorganges bzw. zu Beginn des Wiedereinscherens beobachtet werden. Kaum Unterbrechungen sind hingegen während der Annäherungs- bzw. Orientierungsphase zu beobachten.

Diese Ergebnisse führen somit zu dem Schluss, dass Fahrer offenbar gut in der Lage sind, ihren Bedienvorgang zu planen und in einzelne Untereinheiten zu zerlegen. Voraussetzung hierfür ist jedoch, dass der betreffende Dialog eine derartige „Chunk-Bildung“ erlaubt – es dem Fahrer also ermöglicht, sich von dem Gerät abzuwenden, sofern dies das Verkehrsgeschehen erfordert, und den Dialog anschließend wieder problemlos aufzunehmen. Diese Ergebnisse sprechen also dafür, dem Fahrer mehr „Mündigkeit“ bei der Verarbeitung von Informationen im Fahrzeug zuzusprechen und ihm nicht von Systemen vorschreiben zu lassen, wann er sich der Zweitaufgabe zuwenden darf.

Bei der Gestaltung von Haupt- und Nebenaufgaben im Fahrzeug soll die Informationspräsentation nach Zimmer (1999) so gestaltet werden, dass zwar die Hauptaufgabe (das Verkehrsgeschehen) automatisch Aufmerksamkeit auf sich zieht, die Zweitaufgabe (bspw. die Bedienung von Bordfunktionen) jedoch nur aufgrund von Abwendung gewählt wird. Ist diese Asymmetrie gegeben, dann ist bei zeitkritischen Anforderungen in der Hauptaufgabe eine Rückzuwendung ohne Zeitverzögerung möglich.

6.2 Diskussion der verwendeten Methode

Die Fahrsimulation als experimentelles Setting hat sich im Bereich der Verkehrspsychologie sowie in der fahrzeugergonomischen Forschung in den letzten Jahren so weit etabliert, dass verschiedene Kraftfahrzeughersteller sowie –zulieferer eigene Simulatoren betreiben. Die Vorteile dieser Methode - beispielsweise die wesentlich kostengünstigere Datengewinnung im Vergleich zur Felduntersuchung sowie die Möglichkeit, Fragestellungen aufgreifen zu können, deren Untersuchung auf der Straße eine zu große Gefährdung darstellen würde - machen den Fahrsimulator zu einem wichtigen Hilfsmittel der Forschung. Ein weiterer nicht zu unterschätzender Vorteil des Simulators im Vergleich zu einem Feldversuch ist zudem die Möglichkeit der Herstellung von gut kontrollierbaren und standardisierbaren Versuchsbedingungen. Im Feldexperiment erweist es sich oftmals als sehr schwierig, alle Einflussfaktoren zu kontrollieren. Jedoch muss bei dieser Diskussion die Tatsache die Tatsache mit einbezogen werden, dass das reale Verkehrsgeschehen mit all seiner Komplexität und Variabilität in einem Simulator nie perfekt abzubilden ist.

Einige wichtige Fragestellungen, die beim Experimentieren mit Fahrsimulatoren immer wieder auftauchen, sollen hier kurz angeschnitten werden (Biehl, 1976, S.3):

- (1) Welche Vorteile bringt die Methode der Fahrsimulation für die verkehrspsychologische Forschung?
- (2) Welche technischen Möglichkeiten zur realitätsnahen Darstellung von Fahrsituationen im Labor gibt es?
- (3) Welche Grenzen und Gefahren liegen in dieser Form der Forschungsmethode?
- (4) Wie sind die beiden unterschiedlichen Ansätze einer Vollsimulation und der Simulation von Teilaspekten der Fahrsituation zu beurteilen?

zu (1). Einige Vorteile der Fahrsimulation wie Kontrollierbarkeit, Standardisierbarkeit und kostengünstigere Datengewinnung wurden bereits aufgeführt. Hulbert & Wojcik (1972) erweitern diese Liste noch und führen folgende Vorteile der Simulatormethode gegenüber dem Feldversuch an:

- Gefahren werden vermieden.
- Man erwartet, dass die Kosten geringer sind als die Untersuchung des gleichen Problems in der Feldsituation.
- Ganze Situationen oder einzelne Variablen lassen sich exakt variieren und reproduzieren.
- Das Verhalten von Fahrer und Fahrzeug lässt sich wesentlich leichter und exakter beobachten und messen als in der echten Verkehrssituation.

Bei den Einsparungen gegenüber dem Feldversuch muss angemerkt werden, dass diese natürlich in starkem Maße von der Validität des Simulators abhängig sind: wenn jedes gewonnene Ergebnis nochmals im realen Verkehrsgeschehen bestätigt werden muss, um praktische Konsequenzen daraus ziehen zu können, ist kein ökonomischer Vorteil gegeben. Bei jeder Simulatoruntersuchung muss also die kritische Frage nach der Validität der gewonnenen Ergebnisse gestellt werden. Obwohl es diverse Studien zur Validität von Fahrsimulatoren (bspw. Ehrl, 1995) gibt, ist dennoch für jede Fragestellung gesondert zu entscheiden, ob eine Untersuchung im Simulator sinnvoll ist, und welche Anforderungen dieser Simulator möglicherweise erfüllen sollte. Für den vorliegenden Fall der zeitkritischen Situationen ist natürlich die Validität des Blick- und Sicherungsverhaltens von entscheidender Bedeutung. Es stellt sich die Frage, ob die Fahrer in der Fahrsimulation in einer mit der Realität vergleichbaren Weise die Spiegel zur Absicherung benutzen und ob sich ein der Realsituation vergleichbares Risiko- bzw. Sicherheitsempfinden erzeugen lässt. Für

den in der vorliegenden Untersuchung eingesetzten BMW-Fahrsimulator wurde bislang lediglich eine Validierung von Blickstrategien bei Kurvenfahrten (Scholles, 1997) vorgenommen. Hier zeigte die quantitative Datenauswertung jedoch eine gute Übereinstimmung der Blickstrategien auf dem Testgelände und im Simulator.

zu (2). Simulatoren unterscheiden sich in technischer Hinsicht vor allem in der Art und Weise, wie der Versuchsperson das jeweilige Blickfeld präsentiert wird. Hier sind in erster Linie Filmprojektion und computergenerierte Bilder zu nennen.

Bei der Filmprojektion stehen die Vorteile der optimalen Bildqualität und der uneingeschränkten Möglichkeit der Darstellung von Verkehrssituationen dem Nachteil der mangelnden Flexibilität gegenüber: der Ablauf der Simulation bzw. die Fahrstrecke ist meist so eingeschränkt, dass der Versuchsperson nur ein sehr enger Handlungsspielraum zur Verfügung steht.

Computergenerierte Bilder auf der anderen Seite setzen sehr hohe Rechnerleistungen voraus: die Fahrstrecke muss generiert, die Daten der Versuchsfahrt erfasst und möglicherweise die Fahrdynamik berechnet werden. Ein Plus an realitätsnaher Darstellung könnte eingeschränkte Freiheiten für die Versuchsperson bedeuten. Beim BMW-Fahrsimulator handelt es sich um ein computerbasiertes System, dessen Datenbasen real existierenden Strecken nachempfunden sind. Die Flexibilität aufgrund der freien Programmierbarkeit des Fremdverkehrsverhaltens macht die Untersuchung von derart komplexen Fragestellungen, wie die Untersuchung des Fahrerverhaltens in zeitkritischen Fahrsituationen durch die exakte Steuerbarkeit der Fremdfahrzeuge erst möglich.

Ein dritter aktueller Punkt ist die Simulation des Bewegungseindrucks: kinästhetische Empfindungen stellen einen sehr wichtigen Aspekt der Bewegungswahrnehmung dar. Ein Fehlen dieser Modalität könnte einen bislang kaum untersuchten Verlust an ökologischer Validität mit sich bringen. Da die vorliegenden beiden Untersuchungsabschnitte in einem statischen Fahrsimulator stattfanden, erhielten die Versuchspersonen keinerlei Rückmeldungen zur Fahrdynamik wie beim Autofahren im realen Verkehrsgeschehen. Nun stellt aber das kinästhetische Feedback beispielsweise gerade bei schnellen Spurwechseln eine wichtige Hilfestellung für den Fahrer dar, die auch das Sicherheitsempfinden in nicht unerheblichem Maße beeinflusst.

zu (3). Das vordringliche Problem der Fahrsimulation ist nach wie vor das der Validität: bildet die simulierte Fahrszene wirklich realistisch die Wirklichkeit ab, entspricht das Verhalten der Versuchsperson wirklich dem Verhalten im Verkehr oder erlaubt es zumindest aussagekräftige Rückschlüsse auf tatsächliches Verhalten?

Auch eine nahezu perfekt simulierte Umgebung muss beim Fahrer noch nicht dieselbe Reaktion wie in der Realsituation hervorrufen: die Motivation als Determinante des Fahrverhaltens ist einzubeziehen, wenn man sich vor Augen hält, dass die Versuchsperson im Simulator sich nie einer realen Gefahrensituation gegenüber sieht. Auch soziales Umfeld (Laborsituation), Einstellungen und Erwartungen verfälschen möglicherweise das Ergebnis. Gubser und Spörli (1970) sprechen hier von der „Nichtsimulierbarkeit des existentiellen Engagements“. Browning (1975) kommt nach einem Vergleich von Fahrsimulation und realer Fahrt zu dem Schluss, dass im Simulator nicht dieselben emotionalen Reaktionen hervorgerufen würden wie auf der Straße. Biehl (1976, S.5) meint hierzu: „Je deutlicher wird, dass etwa sicheres Verhalten nicht nur mit Fähigkeiten (z.B. Reaktionsleistungen, Konzentration, Sehleistung) zu tun hat, sondern auch mit den Persönlichkeitsmerkmalen der Fahrer, desto mehr muss man bezweifeln, ob Fragestellungen, bei denen diese Aspekte eine Rolle spielen, überhaupt am Simulator sinnvoll untersucht werden können.“

Eine Validierung des Simulators an sich wird somit wohl auch weiterhin nur sehr schwer durchzuführen sein. Stattdessen wird man sich mit der Validierung einzelner Teilverhaltensweisen oder einzelner, am Simulator abgeleiteter Verhaltensdaten begnügen müssen.

zu (4). Gubser und Spörli (1970, S. 36) kommen zu dem Schluss, dass „... in der Praxis Simulation nur partiell zu verwirklichen ist.“ und dass „... Simulation aller Einflüsse, denen ein Individuum in einer Situation unterliegt, ein illusionäres Ziel darstellt“.

Auch Klebelsberg (1982, S.62) zielt in diese Richtung, wenn er sagt:

„Das Wissen um die Simulation der Gesamtsituation kann der Versuchsperson nicht weg-simuliert werden, so dass die damit verbundenen Motivationen wie Sicherheitseinstellung oder subjektives Gefahrenerleben unvermeidlich verzerrt werden und sich auf das Verhalten in der Simulationssituation dementsprechend auswirken werden.“

Somit sind der „totalen Simulierbarkeit“ schon durch die Nichtsimulierbarkeit von Motivationsbedingungen Grenzen gesetzt. An diesem Punkt ist also die Frage nach Teil- oder To-

talsimulation zu stellen, die allerdings a priori nicht beantwortbar ist. Die Entscheidung, welche und wieviele Aspekte der Totalsimulation simuliert werden müssen, wird immer von der jeweiligen Fragestellung und deren präziser Formulierung abhängen. Eine Untersuchung zur Feststellung der Fahreignung von Verkehrsteilnehmern wird andere Aspekte der Simulation im Vordergrund sehen als z.B. die Untersuchung ergonomischer Aspekte.

In den in dieser Arbeit beschriebenen Fahrsimulationsuntersuchungen wurde der Versuch unternommen, zeitkritische Fahrsituationen experimentell herzustellen und durch Eingriff des Versuchsleiters zu forcieren. Im Zusammenhang mit derartigen Situationen muss die Frage gestellt werden, inwieweit es in der Simulation möglich ist, bei den Fahrern ein der Realsituation vergleichbares Sicherheits- bzw. Risikoempfinden zu erzeugen. Biehl (1976, S.3) zielt in diese Richtung, wenn er feststellt: „Die Fahrsimulation stellt eine Versuchsanordnung dar, die beim Fahrer die gleichen Handlungen und Reaktionen hervorruft, die er auch in der echten Fahrsituation vollziehen würde. Ein vollständiger Simulator wäre demnach in der Lage, alle möglichen Reaktionen eines Fahrers auf alle möglichen Verkehrssituationen in gleicher Art und Stärke hervorzurufen, wie dies in der echten Verkehrssituation der Fall ist. Reaktionen und Handlungen umfassen dabei nicht nur äusserlich beobachtbares Verhalten, sondern auch z.B. psychologische Veränderungen oder schwer zugängliche Merkmale der Motivation des Fahrers.“ Gerade die genannten motivationalen Aspekte sind bei der vorliegenden Fragestellung von vorrangiger Bedeutung – die Fahrer werden in den hier beschriebenen Untersuchungen gezielt in zeitkritische Fahrsituationen gebracht, die in der Realität zu erhöhter Beanspruchung bzw. möglicherweise auch zu einer Gefährdung führen könnten. Zudem sollen sie diese Situationen mehrfach durchfahren, um eine belastbare Datengrundlage zu erreichen. Dabei stellt sich natürlich die Frage, wie das Fahrverhalten durch ein derartiges experimentelles Vorgehen beeinflusst wird und ob die Probanden ein annähernd realistisches Risikoverhalten zeigen.

Otten und Habermehl (1989) untersuchten das Überholverhalten von Kraftfahrern in zwei unterschiedlichen experimentellen Settings: Zunächst wurde das Überholverhalten mittels Videoaufzeichnungen im realen Verkehrsgeschehen von hochliegenden Beobachtungspunkten aus analysiert. Daraufhin wurde in einem zweiten Untersuchungsabschnitt im Daimler-Benz-Fahrsimulator das Fahr- und Überholverhalten der Probanden digital erfasst. Als wesentliche Vorteile des Simulatorversuches können den Forschern zufolge die Genauigkeit und Vollständigkeit der Daten, die sowohl das „äussere“ Verkehrsgeschehen

beschreiben als auch „innere“ Fahrverhaltensbeobachtungen ermöglichen, gelten. Eine Validierung der Simulatorergebnisse wurde anhand der Daten aus der Felduntersuchung durchgeführt. Eine sorgfältige Diskussion der Versuchsanordnungen sowie die Sichtung des Ergebnismaterials führten nach formalen Angleichungen zur Auswahl von 12 Vergleichsparametern (Überholsichtweite, Sicherheitsabstand am Überholende, Ausscherabstand, Überholdauer, Überholweg sowie mehrere Geschwindigkeitsgrößen). Darüberhinaus ließ sich in fast allen Fällen eine gute Übereinstimmung im Fahr- und Überholverhalten erkennen. Weitere qualitative Vergleiche bestätigten dies. Der Simulator erwies sich somit als gut geeignetes Instrument zur Untersuchung auch komplexer Ansätze aus Verkehrstechnik und -sicherheit.

Aus methodischer Sicht kann somit abschließend festgestellt werden, dass gerade für die Untersuchung der hier vorliegenden Fragestellung der Einsatz der Fahrsimulation die Betrachtung weitgehend standardisierter zeitkritischer Situationen erlaubt. Der verwendete handlungsorientierte Ansatz hat sich als sehr hilfreich erwiesen und sollte noch stärker differenziert werden, um beispielsweise auch die Handlungsstrategien der Nebenaufgabe zu betrachten. Im nächsten Schritt sollte neben dem Bedienverhalten auch das Fahrverhalten der Probanden einer noch detaillierteren Analyse unterzogen werden.

Literaturverzeichnis

- Alm, H. & Nilsson, L. (1995). The effects of a mobile telephone task on driver behaviour in a car following situation. *Accident Analysis and Prevention*, Vol. 27, No. 5, 707-715.
- Bartmann, A. (1995) *Zur Erfassung von kognitiver Beanspruchung beim Führen von Kraftfahrzeugen. Eine Feldstudie*. Aachen: Verlag Shaker.
- Becker, S., Brockmann, M., Bruckmayr, E., Hofmann, O., Krause, R., Mertens, A., Nin, R. & Sonntag, J. (1995). *Telefonieren am Steuer*. Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen, Heft M 45.
- Bernotat, E. (1970). Anthropotechnik in der Fahrzeugführung. *Ergonomics*, Vol. 13, 353-377.
- Biehl, B. (1976). Simulatoren - Ein Fortschritt für die Erforschung des Verkehrsverhaltens? *Zeitschrift für Verkehrssicherheit*, 22, 3 - 6.
- BMW AG (1993). *Fahrsimulation in Forschung und Entwicklung*. Informationsbrochure der BMW AG München, Abt. EW-1.
- Bornemann, E. (1942). Untersuchungen über den Grad der geistigen Beanspruchung. I. Teil: Ausarbeitung der Methode. *Arbeitsphysiologie*, 12, 142 – 172.
- Bornemann, E. (1942). Untersuchungen über den Grad der geistigen Beanspruchung. II. Teil: Praktische Ergebnisse. *Arbeitsphysiologie*, 12, 173 – 191.
- Bortz, J. (1993). *Statistik für Sozialwissenschaftler*. Berlin: Springer.
- Bossi, L.L., Ward, N.J., Parkes, A.M. & Howarth, P.A. (1997). The effect of vision enhancement systems on driver peripheral visual performance. In Y.I. Noy (Ed.), *Ergonomics and Safety of Intelligent Driver Interfaces*, 239-260. Mahwah, NJ: LEA.

- Brehmer, B. (1987). Development of mental models for decisions in technological systems. In J. Rasmussen, K. Duncan & J. Leplat (Eds.), *New technology and human error* (S. 111-120). Chichester: Wiley.
- Brehmer, B. (1990). Variable errors set a limit to adaptation. *Ergonomics*, 33, 65-77.
- Broadbent, D.E. (1958). *Perception and communication*. Oxford: Pergamon Press.
- Brookhuis, K.A. & de Waard, D. (1994). Measuring driving performance by car-following in traffic. *Ergonomics*, Vol. 37(3), 427-434.
- Brookhuis, K.A. & de Waard, D. (2001). Assessment of drivers' workload : Performance and subjective and physiological measures. In: P.A. Hancock & P.A. Desmond (2001). *Stress, Workload and Fatigue*. Mahwah, N.J.: LEA.
- Browning, J. (1975). *The Effect of Alcohol on Risk Perception under Realistic and Simulated Traffic Conditions*. Queen's University Kingston, Ontario, Canada.
- Bruckmayr, E. (1994). Neue Informationstechniken im Fahrzeug: eine Quelle der Ablenkung und der informatorischen Überlastung? *Zeitschrift für Verkehrssicherheit*, 40(1), 12-23.
- Bühl, A. & Zöfel, P. (2000). *SPSS Version 10. Einführung in die moderne Datenanalyse unter Windows*. München: Addison-Wesley.
- Clarke, D. D., Ward, P. J. & Jones, J. (1998). Overtaking road-accidents: differences in manoeuvre as a function of driver age. *Accident Analysis and Prevention*, Vol. 30(4), 455-467.
- Clarke, D. D., Ward, P. J. & Jones, J. (1999). Processes and countermeasures in overtaking road accidents. *Ergonomics*, Vol. 42(6), 846-867.
- Cooper, G.E. & Harper, R.P. (1969). *The use of pilot rating in the evaluation of aircraft handling qualities*. Report No. ASD-TR-76-19. Moffett Field, CA: National Aeronautics and Space Administration)
- Dahmen-Zimmer, K., Huber, M., Kaiser, I., Kostka, M., Scheufler, I., Piechulla, W., Praxenthaler, M. & Zimmer, A. (1999). *Definition und Validierung von Krite-*

- rien für die Ablenkungswirkung von MMI-Lösungen. Endbericht Motiv-Teilprojekt MMI AP/5. Universität Regensburg: Lehrstuhl für Experimentelle und Angewandte Psychologie.
- De Waard, D. (1996). *The measurement of drivers' mental workload*. Haren: The Traffic Research Center VSC.
- Dörner, D. & Pfeiffer, E. (1992). Strategisches Denken, strategische Fehler, Stress und Intelligenz. *Sprache & Kognition*, 11, 75-90.
- Dorsch, F. (1987). *Psychologisches Wörterbuch*. Bern: Huber.
- Ehrl, K. (1995). *Die experimentelle Validierung eines Fahrsimulators bezüglich der Geschwindigkeitsregulation bei unterschiedlicher Aufgabenstellung*. Diplomarbeit. Psychologisches Institut der Universität Regensburg.
- Färber, B. (1987). *Geteilte Aufmerksamkeit. Grundlagen und Anwendung im motorisierten Straßenverkehr*. Köln: Verlag TÜV Rheinland.
- Farber, E.I. & Silver, C.A. (1967). Knowledge of oncoming car speed as determiner of driver's passing behaviour. *Highway Research Record*, 195, 11-23.
- Fastenmeier, W. (1995). *Autofahrer und Verkehrssituation. Neue Wege zur Bewertung von Sicherheit und Zuverlässigkeit moderner Straßenverkehrssysteme*. Köln: Verlag TÜV Rheinland.
- Forgber, H. (1997). Stop & Call. *ADAC Motorwelt*, Heft 11, 6-8.
- Fuller, R. (1992). Learned riskiness. *The Irish Journal of Psychology*, 13, 250-257.
- Gubser, F. & Spörli, S. (1970). Teilsimulation in der psychologischen Diagnostik. *Neue Züricher Zeitung, Fernausgabe*, 208, 39.
- Groeger, J.A. & Clegg, B.A. (1994). Why isn't driver training contributing more to road safety? In G.B. Grayson (ed.). *Behavioural Research in Road Safety*, Vol. IV, Technical Report No. PA3035/94 (pp. 61-68). Transport Research Laboratory, Crowthorne.

- Hacker, W. (1986). *Arbeitspsychologie*. Berlin: VEB Deutscher Verlag der Wissenschaften.
- Haigney, D.E., Taylor, R.G. & Westerman, S.J. (2000). Concurrent mobile (cellular) phone use and driving performance: task demand characteristics and compensatory processes. *Transport Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, Vol. 3, No. 3, 113-121.
- Haigney, D.E. & Westerman, S.J. (2001). Mobile (cellular) phone use and driving: a critical review of research methodology. *Ergonomics*, Vol. 44(2), 132-143.
- Harms, L. (1986). Drivers' attentional responses to environmental variations: A dual-task real traffic study. In A.G. Gale, M.H. Freeman, C.M. Haslegrave, P. Smith & S. Taylor (Eds.). *Vision in Vehicles* (pp. 131-138). Amsterdam: North-Holland.
- Harris, D. (1988). The subjective probability of involvement in an overtaking accident in the vicinity of a junction. In J.A. Rothengatter & R.A. de Bruin (eds.): *Road Users and Traffic Safety* (pp. 27-59). Assen: van Gorcum.
- Heinze, W. (1977). *Simulatoruntersuchung zur Bestimmung der Pilotenbeanspruchung bei unkonventionellen, räumlich gekrümmten Anflugprofilen*. Berichte der Technischen Universität Braunschweig, Naturwissenschaftliche Fakultät.
- Hendy, K.C., Hamilton, K.M. & Landry, L.N. (1993). Measuring subjective workload: When is one scale better than many? *Human Factors*, 35, 579-601.
- Hills, B.L. (1980). Vision, visibility and perception in driving. *Perception*, 9, 183-216.
- Hitt, J. M., Kring, J. P., Daskarolis, E., Morris, C. & Mouloua, M. (1999). Assessing mental workload with subjective measures: An analytical review of the NASA-TLX index since its inception. *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society annual meeting*, Vol. 2, 1404.
- Hölsken, D. (1965). Der mehrspurige Verkehrsablauf auf Stadtstraßen. Leistungsfähigkeit von zweispurigen Spurwechselstrecken. *Fortschritt Berichte, VDI-Zeitschrift, Reihe 12, Nr. 8*.

- Hohle, P. (1974). Auswirkungen unterschiedlicher Verkehrsordnungen auf den Verkehrsablauf auf mehrspurigen Richtungsfahrbahnen in städtischen Verdichtungsgebieten. *Forschungsberichte des Landes Nordrhein-Westfalen, Nr. 2408*. Opladen: Westdeutscher Verlag.
- Horswill, M. S. & Mckenna, F. P. (1999). The effect of interference on dynamic risk-taking judgments. *British Journal of Psychology, 90* (2), 189-199.
- Hoyos, C. Graf & Kastner, M. (1986). Belastung und Beanspruchung von Kraftfahrern. *Unfall- und Sicherheitsforschung Straßenverkehr*, Heft 59. Bergisch-Gladbach: Bundesanstalt für Straßenwesen.
- Hulbert, S. & Wojcik, C. (1972). Driving Task Simulation. In: Forbes, T. W. (ed.). *Human Factors in Highway Traffic Safety Research*, 44 - 73. New York: Wiley.
- Jahns, D.W. (1973). *A concept of operator workload in manual vehicle operations*. Bericht Nr. 14. Meckenheim: Forschungsinstitut für Anthropotechnik.
- Johannsen, G. (1993). *Mensch-Maschine-Systeme*. Berlin: Springer.
- Kahnemann, D. (1973). *Attention and Effort*. Englewood Cliffs, NJ: Prentice Hall.
- Kantowitz, B.H. & Casper, P. (1998). Human workload in aviation. In: E.L. Wiener & D. C. Nagel (Eds.). *Human Factors in Aviation. Academic Press Series in Cognition and Perception* (pp. 157-187). San Diego, CA, US: Academic Press, Inc.
- Kantowitz, B.H. & Simsek, O. (2001). Secondary-task measures of driver workload. In: P. A. Hancock & P.A. Desmond (Eds.). *Stress, Workload, and Fatigue. Human Factors in Transportation*. (pp. 395-408). Mahwah, NJ, US: Lawrence Erlbaum Associates, Inc.
- Klebensberg, D. (1982). *Verkehrspsychologie*. Berlin, Heidelberg, New York: Springer.
- Klimmer, F. & Rutenfranz, J. (1983). Folgen mentaler und emotionaler Belastungen. In: W. Rohmert & J. Rutenfranz (Hrsg.). *Praktische Arbeitsphysiologie* (S.135-141). Stuttgart, New York: Georg Thieme Verlag.

- Krems, J., Keinath, A., Baumann, M., Bengler, K. & Gelau, C. (2000). Die Bewertung von visuellen Displaydarstellungen in Kraftfahrzeugen: Vor- und Nachteile der Okklusionsmethode. In Bundesanstalt für Straßenwesen (Hrsg.). *Informations- und Assistenzsysteme im Auto benutzergerecht gestalten*, S.25-32. Bergisch Gladbach: Wirtschaftsverlag.
- Lamble, D., Kauranen, T. & Laakso, M. (1999). Cognitive load and detection thresholds in car following situations: safety implications for using mobile (cellular) telephones while driving. *Accident Analysis and Prevention*, Vol.31, No. 6, 617-623.
- Luximon, A. & Goonetilleke, R. S. (2001). Simplified subjective workload assessment technique. *Ergonomics*, Vol. 44(3), 229-243
- Macdonald, W.A. & Hoffmann, E.R. (1980). Review of relationships between steering wheel reversal rate and driving task demand. *Human Factors*, 22, 733-739.
- Matthewsa, R., Legg, S. & Charlton, S. (2002). The effect of cell phone type on drivers' subjective workload during concurrent driving and conversing. *Accident Analysis and Prevention*, Vol. In Press.
- Meshkati, N., Hancock, P.A., Rahimi, M. & Dawes, S.M. (1995). Techniques in mental workload assessment. In: J.R. Wilson & E.N. Corlett. *Evaluation of Human Work*. London: Taylor & Francis.
- Michon, J.A. (1985). A critical review of driver behavior models: what do we know, what should we do? In L. Evans & R.C. Schwing (Hrsg.). *Human Behavior and Traffic Safety* (485-521). New York: Plenum Press.
- Michon, J.A. (1989). Explanatory pitfalls and rule-based driver model. *Accident Analysis and Prevention*, Vol. 21, 341-353.
- Müller, B. & Basler, H. D. (1993). *Kurzfragebogen zur aktuellen Beanspruchung*. Weinheim: Beltz.

- Nagel, D.C. (1988). Human error in aviation operations. In E.L. Wiener & D.C. Nagel (Hrsg.). *Human Factors in Aviation*. San Diego, CA: Academic Press, 263-303.
- Neumannn, K.T., Weiser, H., Obojski, A. & Anders, P. (2000). *Technologien für Fahrerassistenzsysteme am Beispiel der Abbiege- und Spurwechsel-Assistenz (A-SA)*. Fortschritt Berichte - VDI Reihe 12 Verkehrstechnik Fahrzeugtechnik. VDI-Verlag GmbH, 173-179.
- Norman, D.A. & Bobrow, D. (1975). On data-limited and resource-limited processing. *Journal of Cognitive Psychology*, 7, 44-60.
- Norman, D.A. (1981). Categorization of action slips. *Psychological review*, 88, 1-15.
- Nygren, T.E. (1982). *Conjoint measurement and conjoint scaling: a user's guide*. DTIC No. ADA 122579 (Wright-Patterson Air Force Base, OH: Air Force Aerospace Medical Research Laboratory).
- O'Donnell, R.D. & Eggemeier, F.T. (1986). Workload assessment methodology. In: L. Boff, L. Kaufmann & J. Thomas (Eds.). *Handbook of Perception and Performance* (Vol. II) (pp.42 – 49). New York: Wiley.
- Otten, N. & Habermehl, K. (1989). *Vergleich der Ergebnisse von Feld- und Simulator-experimenten zum Überholverhalten von Kraftfahrern*. Bericht zum Forschungsbericht 8527/8 der Bundesanstalt für Strassenwesen, Bereich Unfallforschung, Bergisch Gladbach.
- Parkes, A.M. & Franzen, S. (Hrsg.) (1993). *Driving future vehicles. Chapter 20: Voice communications in vehicles*. London: Taylor & Francis.
- Praxenthaler, M. (2000). *Fahrsimulationsuntersuchung zur Abbiege- und Spurwechsel-assistenz. Bericht zur zweiten Hauptuntersuchung 03/2000*. BMW AG München: Unveröffentlichter Bericht.
- Rasmussen, J. (1983). Skills, rules and knowledge; signals, signs and symbols and other distinctions in human performance models. *IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics*. SMC-13,3.

- Reason, J. (1990). *Human Error*. Cambridge, MA: Cambridge University Press.
- Rouse, W.B. & Rouse, S.H. (1983). Analysis and classification of human error. *IEEE Trans. Systems, Man, Cybernetics*, Vol. SMC-13, 539-549.
- Schmidts, F., Niewöhner, W. & Berg, F.A. (1999). *Analyse kritischer Fahrsituationen beim Spurwechsel*. Abschlussbericht im Rahmen des Motiv-Projekts. Stuttgart: DEKRA Automobil AG.
- Schneider, W. (1997). Testfahrt in die Zukunft. *BMW Magazin*, 2, 1997, 49-51.
- Scholles, M. (1997). *Blickstrategien in Kurvenfahrten. Vergleich zwischen realer und simulierter Teststrecke*. Diplomarbeit. Institut für Angewandte Mathematik der Fachhochschule Flensburg.
- Shinar, D., McDonald, S.T. & Treat, J.R. (1978). The interactions between causally-implicated driver mental and physical conditions and driver errors causing traffic accidents: an analytical approach and a pilot study. *Journal of Safety Research*, 10, 16-23.
- Sparmann, U. (1978). Spurwechselforgänge auf zweispurigen BAB-Richtungsfahrbahnen. *Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik*, Heft 263. Bonn-Bad Godesberg: Bundesministerium für Verkehr.
- Statistisches Bundesamt (2001). *Statistisches Jahrbuch für die Bundesrepublik Deutschland und für das Ausland*. Stuttgart: Metzler-Poeschel.
- Strobl, M.H., Löwenau, J.P. & Bernasch, J.H. (2000). *Generation of complex traffic scenarios in the BMW driving simulator*. Vortrag auf der DSC 2000 – Driving Simulator Conference, Paris, 6. – 8. September 2000.
- Takada, Y. & Shimoyama, O. (2001). *Evaluation of driving assistance systems based on drivers' workload*. Paper presented at Driving Assessment 2002: The First International Driving Symposium on Human Factors in Driver Assessment Training and Vehicle Design. Snowmass Village at Aspen, Colorado.
- Treisman, A. M. (1960). Contextual cues in selective listening. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 12, 242-248.

- Treisman, A. M. (1964). Selective attention in man. *British Medical Bulletin*, 20, 12-16.
- Uno, H. & Hiramatsu, K. (2000). Effects of Auditory Distractions on Driving Behaviour during lane change course negotiation: estimation of spare mental capacity as a index of attention distraction. *JSAE Review*, Vol. 21, No. 2, 219-224.
- Ursin, H. & Ursin, R. (1979). Physiological indicators of mental workload. In: N. Moray (ed.). *Mental Workload: Its Theory and Measurement*. New York: Plenum Press.
- van Winsum, W. & Heino, A. (1996). Choice of time-headway in car-following and the role of time-to-collision information in braking. *Ergonomics*, Vol. 39(4), 579-592.
- van Winsum, W., Brookhuis, K.A. & de Waard, D. (1998). A comparison of different ways to approximate time-to-line crossing (TLC) during car driving. *Accident Analysis and Prevention*, Vol. 30(4), 47-56.
- van Winsum, W., de Waard, D. & Brookhuis, K.A. (1999). Lane change manoeuvres and safety margins. *Transportation Research Part F Traffic Psychology and Behaviour*, Vol. 2(3), 139 - 149. Groningen: Pergamon.
- Verwey, W.B. & Janssen, W.H. (1988). *Route following and driving performance with in-car route guidance systems*. IZF-Report C-14. Soesterberg: Institute for Perception TNO.
- Verwey, W.B. & Veltman, H.A. (1996). Detecting short periods of elevated workload: A comparison of nine workload assessment techniques. *Journal of Experimental Psychology: Applied*, 2, 270-285.
- Verwey, W. B. (1996a). *Evaluating safety effects of in-vehicle information systems (IVIS). A field experiment with traffic congestion information systems (RDS-TMC) and preliminary guidelines for IVIS*. TNO-Report TM-96-C068.
- Wendrich, P. (1973). Methodische Probleme bei der Anwendung von Algorithmen zur Strukturanalyse von Arbeitshandlungen bei Belastungsuntersuchungen. In W. Hacker, W. Quaas, H. Raum & H.-J. Schulz (Hrsg.), *Psychologische Arbeitsuntersuchungen*. Berlin.

- Wickens, C.D. (1987). Information processing, decision making, and cognition. In G. Salvendy (Hrsg.), *Handbook of Human Factors* (pp.72-107). New York: John Wiley & Sons.
- Wickens, C.D. (1992) *Engineering psychology and human performance* (2nd. ed.). New York: HarperCollins Publishers Inc.
- Wickens, C. D. & Carswell, C. M. (1997). Information processing. In G. Salvendy (Hrsg.), *Handbook of Human Factors and Ergonomics*, zweite Auflage. New York: John Wiley & Sons.
- Wickens, C.D., Gordon, S.E. & Liu, Y. (1998). *An Introduction to Human Factors Engineering*. New York: Longman.
- Widdel, H. (1990). Steuerung und Überwachung industrieller Prozesse. In C.G. Hoyos & B. Zimolong (Hrsg.), *Ingenieurpsychologie* (Enzyklopädie der Psychologie, Themenbereich D, Serie III, Bd. 2, S. 396-425). Göttingen: Hogrefe.
- Williges, R.C. & Wierwille, W.W. (1979). Behavioral measures of air crew mental workload. *Human Factors*, 21, 549-574.
- Wilson, T. & Best, W. (1982). Driving strategies in overtaking. *Accident Analysis and Prevention*, 14, 179-185.
- Wilson, T. & Greensmith, J. (1983). Multivariate analysis of the relationship between drivers' accident, sex and exposure status. *Human Factors*, 25, 303-312.
- Zimmer, A. (2000). Ablenkung und Abwendung als Probleme der kognitiven Ergonomie. *Forschungsberichte vom Lehrstuhl Psychologie II der Universität Regensburg*.

Verzeichnis der Abbildungen

Abbildung 1: Phasen des Spurwechsels (nach Sparmann, 1978)	11
Abbildung 2: Beispiel für den zeitlichen Ablauf eines Spurwechselmanövers anhand des Lenkwinkels (nach van Winsum et al., 1999)	25
Abbildung 3: Modell multipler Ressourcen des menschlichen Verarbeitungssystems (nach Wickens, 1987)	31
Abbildung 4: Zusammenhang zwischen Belastung, Beanspruchung und Leistung (nach Johannsen, 1993)	33
Abbildung 5: Fahrerverhalten in zeitkritischen Fahrsituationen in Abhängigkeit von der Workload	51
Abbildung 6: Beanspruchung von Piloten während einzelner Flugphasen (Quelle: Lufthansa)	52
Abbildung 7: Modularer Aufbau des BMW-Fahrsimulators (BMW AG, 1993)	59
Abbildung 8: Fahrsimulator der BMW AG München (aus Schneider, 1997).....	60
Abbildung 9: Streckenverlauf der Experimentalfahrt A99-A9-A92 (Untersuchungsabschnitt 1).....	61
Abbildung 10: Fahrsimulatorszene - dreispurige Autobahn (aus Strobl, Löwenau & Bernasch, 2000)	62
Abbildung 11: Beispiel für eine Blickverlaufsgrafik.....	71
Abbildung 12: Darstellung des Blickverlaufs von Versuchsperson 04 (N=13 Spurwechsel).....	72
Abbildung 13: Darstellung des Blickverlaufs von Versuchsperson 01 (N=8 Spurwechsel).....	73
Abbildung 14: Darstellung des Blickverlaufs von Versuchsperson 07 (N=17 Spurwechsel).....	74
Abbildung 15: Darstellung des Blickverlaufs von Versuchsperson 08 (N=7 Spurwechsel).....	74

Abbildung 16: Darstellung des Blickverlaufs von Versuchsperson 05 (N=13 Spurwechsel).....	75
Abbildung 17: Darstellung des Blickverlaufs von Versuchsperson 11 (N=12 Spurwechsel).....	76
Abbildung 18: Auftretenshäufigkeit von Sicherungsblicken in Abhängigkeit der Handlungsphase	77
Abbildung 19: Häufigkeit von Sicherungsblicken in Abhängigkeit von Handlungsphase und Blickort	77
Abbildung 20: Mittlere Blickdauer [sec] (+/- 1 Stdabw.) getrennt nach Blickorten (N=137 Spurwechsel)	78
Abbildung 21: Mittlere Blickhäufigkeit pro Ausschervorgang (+/- 1 Stdabw.) getrennt nach Blickorten (N=137 Spurwechsel).....	79
Abbildung 22: Verteilung der Ausgangsgeschwindigkeiten bei Beginn des Spurwechsels	80
Abbildung 23: Verlauf des Lenkwinkels für alle Versuchspersonen während des Spurwechsels (N=36 Spurwechsel)	81
Abbildung 24: Mittlerer Lenkwinkel für alle Versuchspersonen während des Spurwechsels (N=36 Spurwechsel)	82
Abbildung 25: Abstand zum rechten Fahrbahnrand [m] während des Spurwechsels für alle Versuchspersonen (N=36 Spurwechsel)	83
Abbildung 26: Mittlerer Abstand zum rechten Fahrbahnrand während des Spurwechsels (N=36 Spurwechsel)	83
Abbildung 27: Typischer Blickverlauf während eines Ausschervorganges „Innenspiegeltyp“	85
Abbildung 28: Typischer Blickverlauf während eines Ausschervorganges „Aussenspiegeltyp“	86
Abbildung 29: Bordmonitor 5er BMW	88
Abbildung 30: Mittlere Blickdauer [sec] getrennt nach Blickort und Experimentalbedingung	90

Abbildung 31: Mittlere Blickhäufigkeit pro Ausschervorgang getrennt nach Blickort und Experimentalbedingung	91
Abbildung 32: Anzahl der Wechsel zwischen den Informationsquellen im Verhältnis zur Gesamtanzahl getätigter Sicherungsblicke	92
Abbildung 33: Verteilung der Ausgangsgeschwindigkeiten bei Beginn des Spurwechsels im Vergleich zwischen den Experimentalbedingungen.....	95
Abbildung 34: Mittlerer Lenkradwinkel über alle Versuchspersonen während des Spurwechsels (Kontrollbedingung; N=137 Spurwechsel).....	96
Abbildung 35: Mittlerer Lenkradwinkel über alle Versuchspersonen während des Spurwechsels (Ablenkungsbedingung; N=123 Spurwechsel).....	97
Abbildung 36: Abstand zum rechten Fahrbahnrand über alle Versuchspersonen während des Spurwechsels (Kontrollbedingung; N=137 Spurwechsel)	98
Abbildung 37: Abstand zum rechten Fahrbahnrand gemittelt über alle Versuchspersonen während des Spurwechsels (Ablenkungsbedingung; N=123 Spurwechsel).....	98
Abbildung 38: Mittleres Spurwechselrisiko (+/- 1 Stdabw) bei Spurwechsel nach links zum Zeitpunkt des Erreichens der Spurbegrenzung	101
Abbildung 39: TTC bei Spurwechsel nach links zum Zeitpunkt des Erreichens der Spurbegrenzung	102
Abbildung 40: Radiophon Amsterdam TCM 127 (Bosch-Blaupunkt).....	105
Abbildung 41: Positionierung des Zusatzgerätes in der Mittelkonsole	105
Abbildung 42: Durchschnittliche Jahreskilometerleistung der Versuchspersonen	114
Abbildung 43: Häufigkeit von Aufgabenunterbrechungen bei der Frequenzeingabe für unterschiedliche Verkehrssituationen (N=14 Versuchspersonen).....	116
Abbildung 44: Häufigkeit von Aufgabenunterbrechungen beim Tätigen eines Anrufs für unterschiedliche Verkehrssituationen (N=14 Versuchspersonen).....	117
Abbildung 45: Lokalisation von Aufgabenunterbrechungen im Handlungsablauf (Sit: Überholen eines langsamen Fahrzeugs bzw. Überholen einer auffahrenden Kolonne)	119

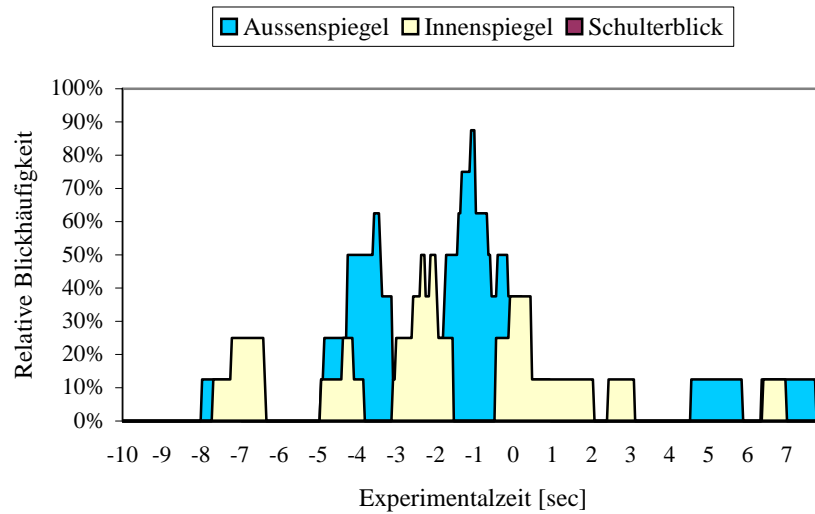
Abbildung 46: Lokalisation von Aufgabenunterbrechungen im Handlungsablauf (Sit: Entgegenkommendes Fahrzeug auf Landstraße)	120
Abbildung 47: Verteilung der Bearbeitungszeiträume im Handlungsablauf (Sit: Überholen einer auffahrenden Kolonne)	121
Abbildung 48: Mittlere Dauer der Blickzuwendung (+/- 1 Stdabw.) im Vergleich zwischen unterschiedlichen Verkehrssituationen (N=14 Versuchspersonen)	122
Abbildung 49: Mittlere Anzahl der Blickzuwendungen (+/- 1 Stdabw.) im Vergleich zwischen unterschiedlichen Verkehrssituationen (N=14 Versuchspersonen)	123
Abbildung 50: Mittlere Anzahl an Blickzuwendungen in Abhängigkeit von der Handlungsphase	124
Abbildung 51: Einschätzung der Beanspruchung während der Fahrt im Vergleich zwischen Nachfolgefahrt und Fahrt mit zeitkritischen Situationen.....	125
Abbildung 52: Einschätzung des erlebten Zeitdrucks während der Fahrt im Vergleich zwischen Nachfolgefahrt und Fahrt mit zeitkritischen Situationen.....	126
Abbildung 53: Einschätzung des erlebten Zeitdrucks im NASA-TLX (getrennt nach Fahr- und Nebenaufgabe)	127
Abbildung 54: Einschätzung der geistigen Beanspruchung im NASA-TLX (getrennt nach Fahr- und Nebenaufgabe).....	128
Abbildung 55: Einschätzung der Aufgabenerfüllung im NASA-TLX (getrennt nach Fahr- und Nebenaufgabe)	128

Verzeichnis der Tabellen

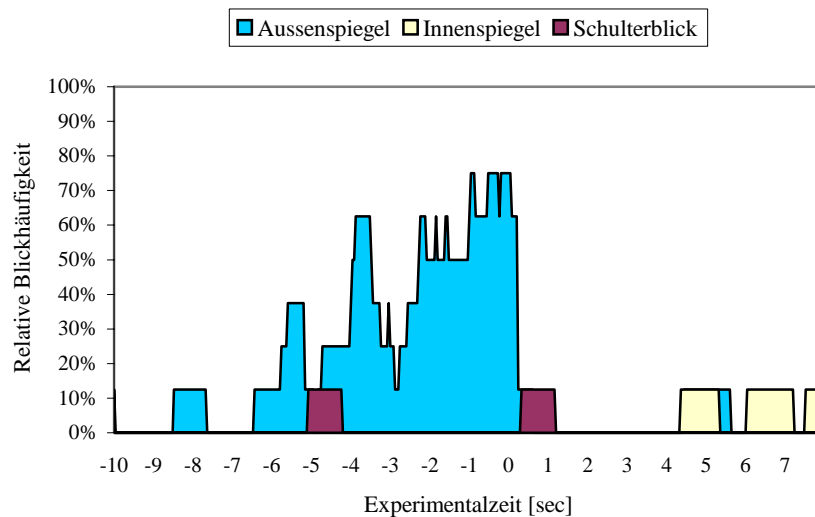
Tabelle 1: Hierarchie der Fahraufgabe (nach Michon, 1989).....	18
Tabelle 2: Handlungsablauf während zeitkritischer Fahrsituationen	23
Tabelle 3: Systembezogene Klassifikation menschlicher Fehler bei der Prozessführung (Rouse, 1983).....	55
Tabelle 4: Versuchsablauf – Untersuchungsabschnitt 1	64
Tabelle 5: Aufgezeichnete fahrdynamische Parameter	66
Tabelle 6: Anz. auswertbarer Ausschervorgänge für Kontroll- und Experimentalfahrt. 69	
Tabelle 7: Notwendige Schritte bei der Bearbeitung der Zusatzaufgabe	89
Tabelle 8: Häufigkeit abgebrochener Spurwechsel im Vergleich der Experimentalbedingungen	100
Tabelle 9: Anzahl der Ausschervorgänge bei definiertem Risiko im Vergleich zwischen den Experimentalbedingungen	101
Tabelle 10: Aufschlüsselung der Fahreranforderungen durch die einzelnen Aufgabentypen.....	109
Tabelle 11: Aufgezeichnete fahrdynamische Parameter	111
Tabelle 12: Anzahl der Aufgabenunterbrechungen in unterschiedlichen Verkehrs- situationen für den Aufgabentyp „Frequenzeingabe“.....	117
Tabelle 13: Anzahl der Aufgabenunterbrechungen in unterschiedlichen Verkehrs- situationen für den Aufgabentyp „Tätigen eines Anrufs“	118

Anhang A: Blickverläufe beim Spurwechsel

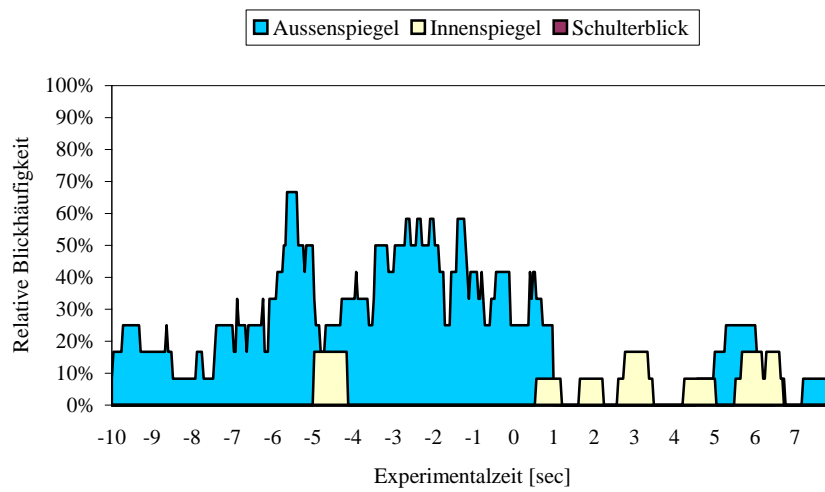
Versuchsperson 01 (N=8 Spurwechsel):



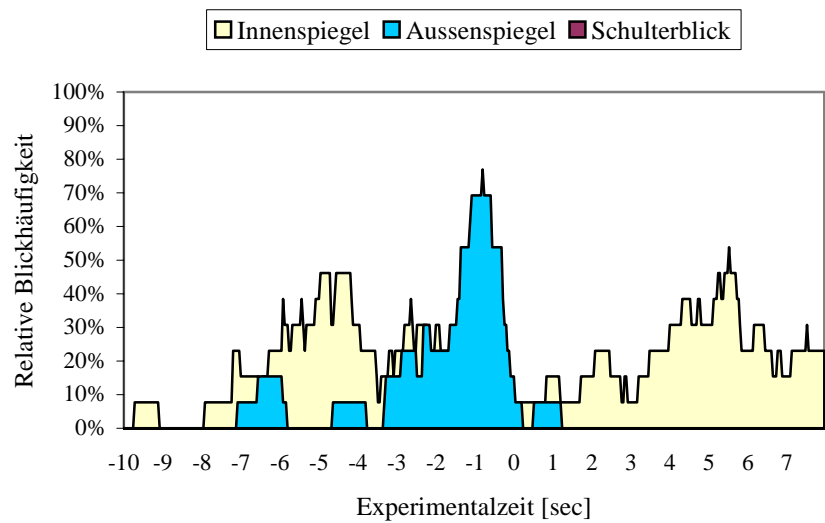
Versuchsperson 02 (N=8 Spurwechsel):



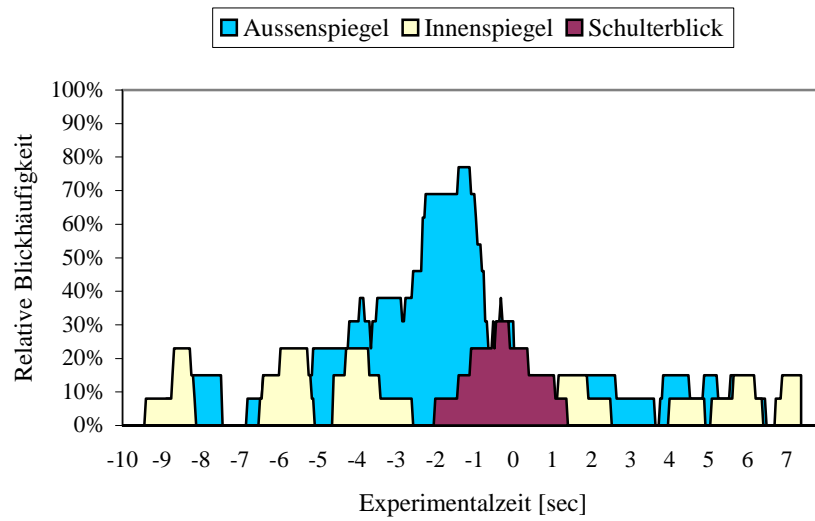
Versuchsperson 03 (N=12 Spurwechsel):



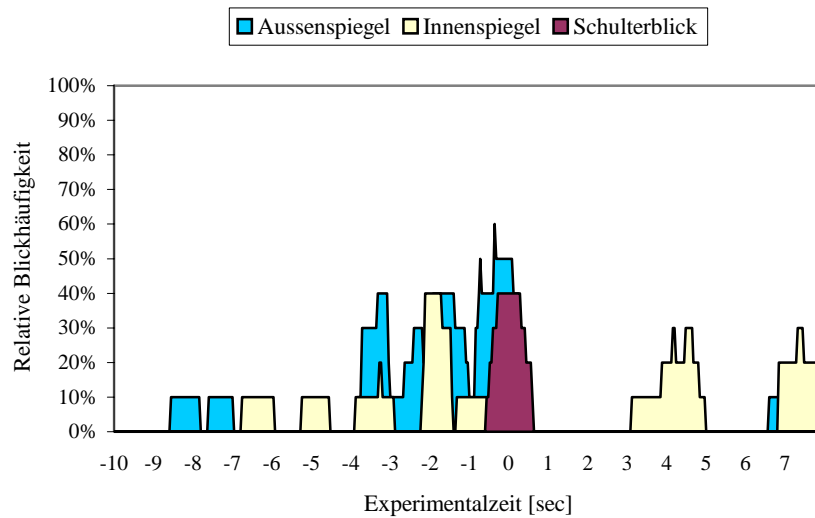
Versuchsperson 04 (N=13 Spurwechsel):



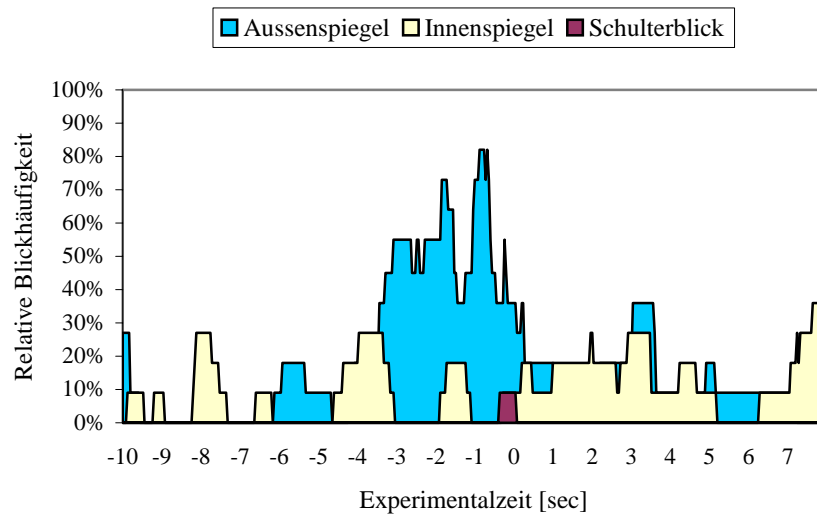
Versuchsperson 05 (N=13 Spurwechsel):



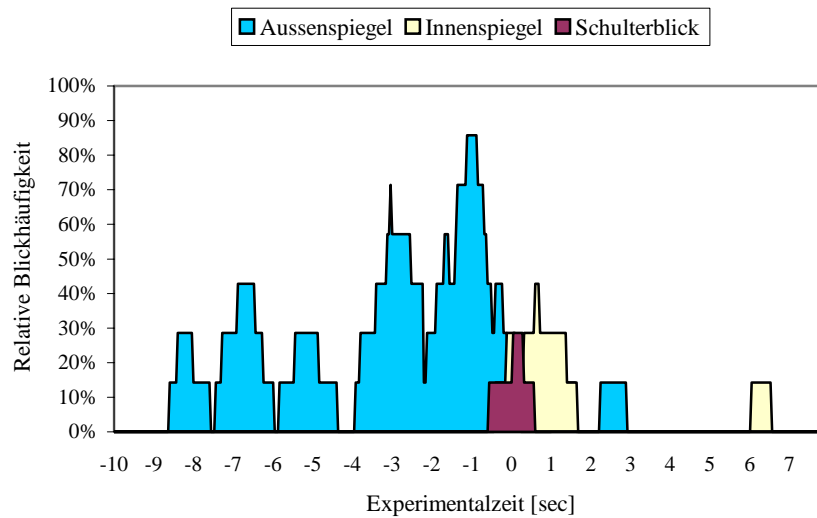
Versuchsperson 06 (N=10 Spurwechsel):



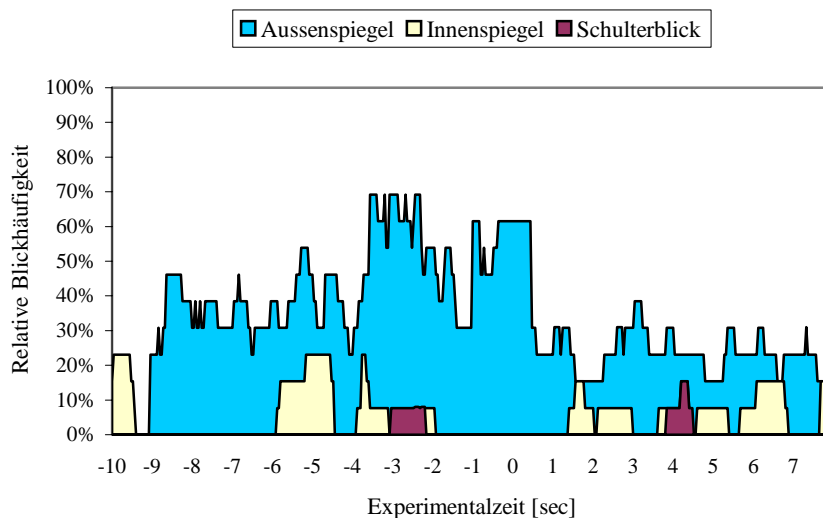
Versuchsperson 07 (N=17 Spurwechsel):



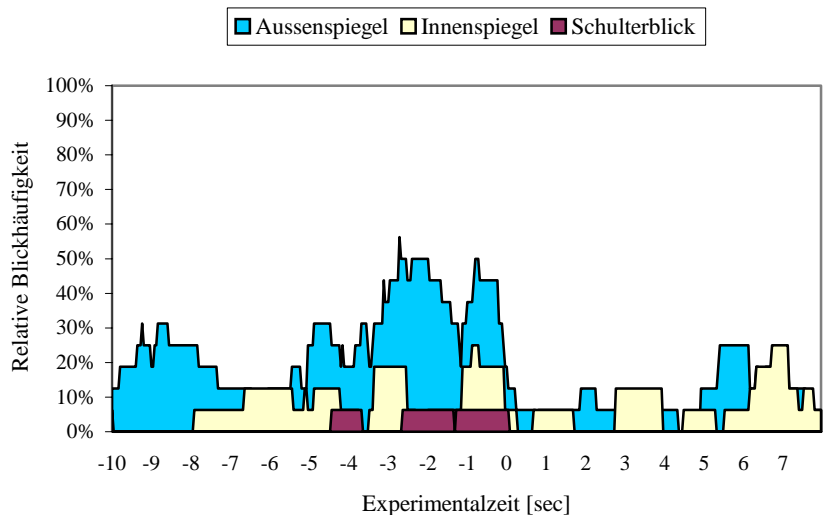
Versuchsperson 08 (N=7 Spurwechsel):



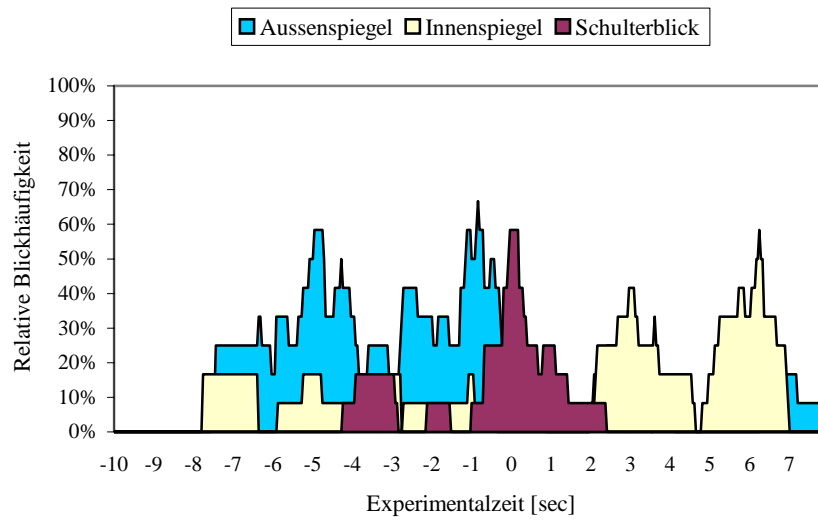
Versuchsperson 09 (N=12 Spurwechsel):



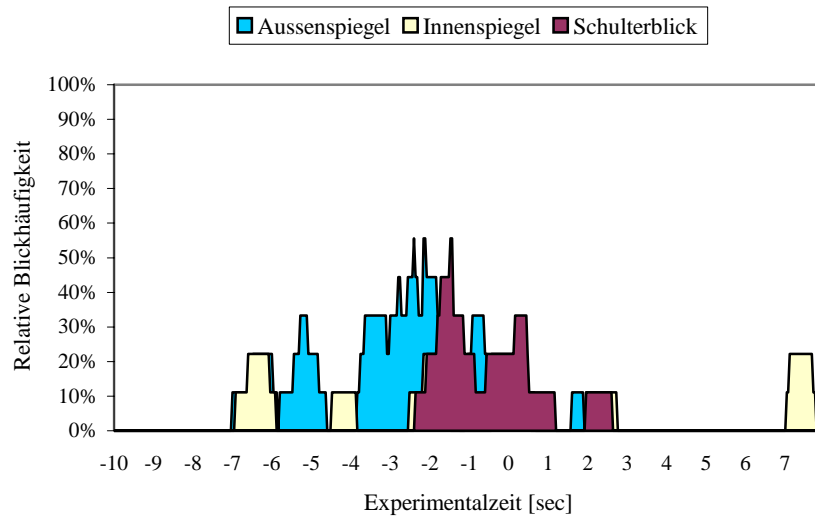
Versuchsperson 10 (N=16 Spurwechsel):



Versuchsperson 11 (N=12 Spurwechsel):



Versuchsperson 12 (N=9 Spurwechsel):



Anhang B: Blickdauer und -häufigkeit

Mittlere Blickhäufigkeit getrennt nach Phase des Spurwechsels:

Vp	Orientierung	Handlung	Stabilisierung
1	1,30	1,12	,92
2	1,70	1,78	1,00
3	2,10	1,92	,82
4	2,00	2,01	,60
5	1,10	1,22	,62
6	,97	1,33	,82
7	1,25	1,09	,98
8	1,34	1,78	,54
9	1,66	1,56	,75
10	1,22	1,42	1,04
11	1,25	1,70	,83
12	1,54	1,24	,90
	Orientierung	Handlung	Stabilisierung
MW	1,4525	1,5142	,8183
SD	,3516	,3203	,1636
N	12	12	12

$$F(2, 22) = 26.53; p < 0.01$$

Mittlere Blickdauer [sec] getrennt nach Blickorten:

Vp	Innenspiegel	Aussenspiegel	Schulterblick
1	1,05	1,05	1,05
2	,72	1,31	,78
3	,82	1,17	,88
4	,74	1,10	,74
5	,75	1,25	,75
6	1,13	1,27	1,08
7	1,05	1,13	1,07
8	,70	1,00	,70
9	,75	,92	,81
10	,82	1,02	1,02
11	1,15	1,06	,89
12	,74	,91	,75
	Innenspiegel	Aussenspiegel	Schulterblick
MW	,8683	1,0992	,8767
SD	,1731	,1315	,1431
N	12	12	12

$$F(2, 22) = 15,09; p < 0,01$$

Mittlere Blickhäufigkeit getrennt nach Blickorten:

Vp	Innenspiegel	Aussenspiegel	Schulterblick
1	1,50	2,40	,00
2	2,05	3,00	,00
3	2,10	2,02	,90
4	2,20	2,95	,50
5	1,15	2,35	1,05
6	1,00	2,55	,40
7	1,20	3,00	,80
8	1,34	2,20	,54
9	1,80	2,01	,50
10	1,10	2,05	,00
11	1,15	2,35	1,30
12	1,20	2,00	,00
	Innenspiegel	Aussenspiegel	Schulterblick
MW	1,4825	2,4067	,4992
SD	,4369	,3895	,4476
N	12	12	12

$$F(2, 22) = 62,99; p < 0,01$$

Mittlere Blickdauer [sec] getrennt nach Blickorten und Experimentalbedingung:

Vp	Innenspiegel Kontrolle	Aussenspiegel Kontrolle	Schulterblick Kontrolle	Innenspiegel Ablenkung	Aussenspiegel Ablenkung	Schulterblick Ablenkung
1	1,05	1,05	1,05	1,03	1,05	1,00
2	,72	1,31	,78	,70	1,25	,71
3	,82	1,17	,88	,81	1,11	,79
4	,74	1,10	,74	,78	1,12	,88
5	,75	1,25	,75	,70	1,22	,80
6	1,13	1,27	1,08	1,04	1,18	1,02
7	1,05	1,13	1,07	,98	1,05	,82
8	,70	1,00	,70	,74	1,06	,74
9	,75	,92	,81	,81	,94	,83
10	,82	1,02	1,02	,79	,99	1,02
11	1,15	1,06	,89	1,12	1,10	,84
12	,74	,91	,75	,74	,97	,78
Vp	Innenspiegel Kontrolle	Aussenspiegel Kontrolle	Schulterblick Kontrolle	Innenspiegel Ablenkung	Aussenspiegel Ablenkung	Schulterblick Ablenkung
MW	,8683	1,0992	,8767	,8533	1,0867	,8525
SD	,1731	,1315	,1431	,1474	,0967	,1067
N	12	12	12	12	12	12

Mittlere Blickhäufigkeit getrennt nach Blickorten und Experimentalbedingung:

Vp	Innenspiegel Kontrolle	Aussenspiegel Kontrolle	Schulterblick Kontrolle	Innenspiegel Ablenkung	Aussenspiegel Ablenkung	Schulterblick Ablenkung
1	1,50	2,40	,00	1,40	2,50	,00
2	2,05	3,00	,00	2,40	3,00	,00
3	2,10	2,02	,90	2,10	2,00	,18
4	2,20	2,95	,50	1,83	2,65	,38
5	1,15	2,35	1,05	1,15	2,35	,82
6	1,00	2,55	,40	1,20	2,26	,00
7	1,20	3,00	,80	1,66	2,55	,65
8	1,34	2,20	,54	1,20	2,05	,45
9	1,80	2,01	,50	1,80	2,12	,33
10	1,10	2,05	,00	1,10	2,05	,00
11	1,15	2,35	1,30	1,15	2,15	,79
12	1,20	2,00	,00	1,15	1,90	,00
Vp	Innenspiegel Kontrolle	Aussenspiegel Kontrolle	Schulterblick Kontrolle	Innenspiegel Ablenkung	Aussenspiegel Ablenkung	Schulterblick Ablenkung
MW	1,4825	2,4067	,4992	1,5117	2,2983	,3000
SD	,4369	,3895	,4476	,4380	,3232	,3201
N	12	12	12	12	12	12

Anhang C: Häufigkeit der Blickwechsel

Häufigkeit des Blickwechsels für Kontroll- und Ablenkungsbedingung:

Vp	Kontrolle	Ablenkung
1	2,65	2,12
2	1,72	1,56
3	2,20	1,82
4	3,20	3,05
5	3,10	2,55
6	2,02	1,56
7	2,75	2,24
8	2,95	2,33
9	2,52	2,55
10	1,93	1,55
11	1,95	1,80
12	3,03	2,25

	Kontrolle	Ablenkung
MW	2,5017	2,1150
SD	,5201	,4724
N	12	12

$$F(1, 11) = 32.14; p < 0.01$$

Anhang D: NASA-TLX

(abgewandelte Form)

Versuchen Sie bitte, die durch die Simulatorfahrt gestellten Anforderungen zusammenfassend mit den folgenden Skalen zu bewerten (jeweils ein Feld ankreuzen):

- Wieviel **geistige Aktivität** war erforderlich?

wenig

viel

Fahraufgabe									
Nebenaufgabe									

wenig

viel

- Wieviel **körperliche Aktivität** war erforderlich?

wenig

viel

Fahraufgabe									
Nebenaufgabe									

wenig

viel

- Wie waren die **zeitlichen Anforderungen** (Zeitdruck)?

gering

hoch

Fahraufgabe									
Nebenaufgabe									

gering

hoch

- Wie groß war die aufzubringende (geistige und körperliche) **Anstrengung**?

gering

hoch

Fahraufgabe									
Nebenaufgabe									

gering

hoch

- Wie gut konnten Sie die gestellten **Aufgaben erfüllen**?

schlecht

gut

Fahraufgabe									
Nebenaufgabe									

schlecht

gut

- Wie wohl** fühlten Sie sich während der Fahrt? (bezogen auf ...)

unwohl

wohl

Fahraufgabe									
Nebenaufgabe									

unwohl

wohl